DER EINFLUSS DER BECKENMORPHOLOGIE EINES TRINKWASSERSPEICHEIRS AUF DEN CHEMISMUS DES GESTAUTEN WASSERS

Morphometrische Maßzahlen und
Mangankonzentration in Talsperren

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
des Fachbereichs Geowissenschaften
der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Axel Gutmann
aus Sagan Kreis Sprottau

1971

DER EINFLUSS DER BECKENMORPHOLOGIE EINES TRINKWASSERSPEICHEIRS AUF DEN CHEMISMUS DES GESTAUTEN WASSERS

Morphometrische Maßzahlen und
Mangankonzentration in Talsperren

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
des Fachbereichs Geowissenschaften
der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Axel Gutmann
aus Sagan Kreis Sprottau

Referent: Prof. Dr. G. Jensch
Korreferent: Prof. Dr. M. Richter
Letzter Tag der mündlichen Prüfung: 13. 9.1971

Gedruckt mit Genehmigung des
Fachbereiches 24 der Freien Universität Berlin

Inhaltsübersicht

	Seite
Vorwort	5
I. Zielsetzung der Arbeit	7
II. Beschreibung des Bearbeitungsgebietes	
1. Der Wahnbach	
a) Lage und Größe	12
b) Höhenlage und Gefälle	12
c) Wasserführung	12
2. Das Wahnbach-Einzugsgebiet	
a) Lage und Größe	13
b) Höhenlage und Reliefenergie	14
c) Morphologie	14
d) Naturräumliche Gliederung	15
e) Geologie	16
f) Hydrologie	18
g) Besiedlung	19
3. Die Wahnbachtalsperre	20
4. Das Riveristal	
a) Der Riverisbach	21
b) Das Einzugsgebiet	22
c) Die Talsperre	23
III. Physikalische, chemische und biologische Vorgänge in Seen und Talsperren	
1. Physik der Seen	
a) Ausbildung der Temperaturschichtung	24
b) Der stabil geschichtete See	25
c) Herbstzirkulation und evtl. Winterstagnation	26
d) Frühjahrszirkulation	26
e) Einschichtung der Zuläufe	27
f) Unterschiede natürlicher und künstlicher Seen	27
2. Biologie und Chemie der Seen	29
a) Sauerstoff	30
b) Stickstoff	30
c) Phosphor	31

IV. Das Manganproblem

1. Reduktion und Lösung 34

2. Bearbeitete Probenanalysen 35

a) Zuflußanalysen 37

b) Tiefenschnitte 37

c) Quer- und Tiefenschnitte 41

d) Schwebstoffsedimente 42

e) Sedimentproben vom Sperrengrund und Bodenproben aus dem Wahnbach-einzugsgebiet 43

aa) Seesedimente 43

bb) Bodensedimente 45

3. Zusammenfassung der Mangananalysen a - e 47

4. Die Riverisanalysen 48

V. Morphometrische Maßzahlen 52

1. Ausbaugrad 52

2. Einzugsgebiet zu Wasservolumen 54

3. Umfangsentwicklung 55

4. Mittlere Tiefe 57

5. Oberfläche zu Tiefe 59

6. Epilimnion zu Metalimnion zu Hypolimnion 59

7. Bodenfaktor 62

a) Bodenfaktor nach Grim und nach Elster und Schmolinsky 63

b) Kontaktfaktor 65

VI. Morphometrie und Mangankonzentration

1. Vertikale Manganschichtung und Bodenfaktor 68

2. Beckengliederung und interne Zuflußströmung 70

3. Schlußbemerkung 74

Zusammenfassung 76

Literaturverzeichnis 79

Anhang: Karten, Tabellen und Abbildungen

Lebenslauf

Vorwort

Anläßlich einer hydrologisch-geographischen Exkursion mit Frau Dr. Masuch in das Rheinland und die Niederlande im April/Mai 1965 erhielt ich zum erstenmal Einblick in die Probleme der Wasserwirtschaft und lernte Talsperren als wichtige Glieder der Trinkwasserversorgung kennen.

Durch Vermittlung von Frau Dr. Masuch absolvierte ich ein dreimonatiges Praktikum beim Wahnbachtalsperrenverband (WTV), nachdem ich mich eingehender mit diesem Fragenkomplex beschäftigt hatte.

Während meines Aufenthaltes beim WTV lernte ich den Staubetrieb, die Bewirtschaftung der Talsperre, die Trinkwasseraufbereitung, die Grundwassergewinnung, den Wasserschutz und die damit verbundenen Probleme kennen. Weiter hatte ich Gelegenheit, die von der Limnologie allgemein für Seen aufgestellten Gesetzmäßigkeiten in ihrer Geltung für Talsperren zu überprüfen.

Für die Dauer meines Praktikums wurde mir als Wohn- und Arbeitsraum freundlicherweise das Sitzungszimmer im Haus am Damm überlassen, so daß ich das Objekt meiner Arbeit immer vor Augen hatte. In der Geschäftsstelle des WTV und in der Trinkwasseraufbereitungsanlage standen mir die Bibliothek und das Archiv mit den gesammelten Analysenergebnissen und den darüber ausgearbeiteten Berichten zur Verfügung.

Die vorliegende Arbeit entstand aus den dort erhaltenen Anregungen.

Während eines mehrtägigen Besuchs bei den Stadtwerken Trier, der Riveristalsperre und der dazugehörigen Trinkwasseraufbereitungsanlage Irsch lernte ich auch die dortigen Betriebe kennen und wurde von Herrn Oberingenieur Mertes und Herrn Thomas freundlicherweise mit Unterlagen versorgt, die einem Vergleich beider Stauseen dienten.

Dem Wahnbachtalsperrenverband, besonders den Herren Oberbaurat Hötter, Baurat Such und Dr. Bernhardt, die mir die Anregung zu dieser Arbeit gaben, und allen anderen Mitarbeitern des WTV, die mir mit Rat und Tat geholfen haben, sowie den Herren in Trier möchte ich hier meinen besonderen Dank aussprechen.

Mein Dank gilt in gleicher Weise Frau Dr. Masuch und Herrn Professor Dr. Jensch für die nützlichen und kritischen Hinweise bei der Durchführung der Arbeit.

I. Zielsetzung der Arbeit

Konnte der ständig steigende Wasserbedarf von Haushalt und Industrie schon bisher nur mit Mühe gedeckt werden, so werden die Schwierigkeiten heute und in der Zukunft ständig größer. Die natürlichen Grundwasservorräte in der Nähe der Ballungsgebiete und Industriezentren werden bis an die Grenze ihrer Leistungsfähigkeit ausgeschöpft. In den Flußniederungen sind die Brunnen schon bis auf 50 m an die Wasserläufe herangerückt (z.B. in Beuel - heute Bonn-Beuel - am Rhein), doch ist das angereicherte Grundwasser durch die zunehmende Verschmutzung der Flüsse nicht mehr unbedenklich sauber. Die Stadtwerke Trier mußten ihr Grundwasserwerk Monaise aufgeben, da es direkt durch schädliche Einflüsse von den umliegenden Gebieten bedroht wurde.

Als Ausweg bietet sich das bis jetzt noch in geringem Umfang genutzte Oberflächenwasser an. Schon seit fast 100 Jahren werden in den Mittelgebirgen, in der Nähe der großen Städte, Talsperren errichtet, um das saubere Wasser von Gebirgsflüssen und -bächen als Trinkwasser zu nutzen. Allerdings finden sich nur noch wenige Einzugsgebiete, die sowohl in hydrologischer Hinsicht für die Anlage von Wasserspeichern geeignet als auch möglichst unbesiedelt sind und nicht oder wenigstens nur in geringem Maß landwirtschaftlich genutzt werden.

Eine Besiedelung bedingt die Belastung der Zuflüsse mit häuslichen und industriellen Abwässern, wenn diese nicht in zentralen Kanalisationsanlagen gesammelt und aus dem Einzugsgebiet abgeführt werden. Zentrale Abwasserbeseitigung ist in ländlichen Gebieten - zumindest vor Errichtung einer Talsperre - meist nicht vorhanden und wenn, dann werden die Bäche als Vorfluter benutzt.

Landwirtschaftliche Nutzung eines Einzugsgebietes führt den Bächen durch Abspülung und Erosion Düngemittel von Äckern und Wiesen zu, die ebenfalls den Nährstoffgehalt im Stauwasser unerwünscht erhöhen.

Eine Talsperre ist ein künstlicher See, der den gleichen physikalischen, chemischen und biologischen Gesetzen unterliegt wie ein natürlicher See. Hier wie dort bewirkt ein starkes Nährstoffangebot die Eutrophierung, die zu schneller Alterung des Sees führt. Die Eutrophierung erschwert die Aufbereitung des Stauwassers zu Trinkwasser und kann eine Talsperre schon in wenigen Jahrzehnten unwirtschaftlich machen. Das muß nicht nur angesichts der hohen Investitionen, die derartige Anlagen erfordern, sondern auch weil die Wasserversorgung großer Siedlungs- und Wirtschaftsräume von einer solchen Einrichtung abhängt, verhindert werden.

Wegen der besonderen Anschaulichkeit des Vergleichs mit Hilfe von Zahlen, angefangen bei absoluten Größen wie Oberflächen, Volumina, Höhen und Tiefen, über Mittelwerte in der Klimatologie, Anthropogeographie aber auch in der physischen Geographie, bis zu Verhältniszahlen wie Steigung (Länge zu Höhe), Reliefenergie (Fläche zu Höhendifferenz) oder Einwohner pro km^2 wird in der Geographie wie in anderen Wissenschaften immer wieder versucht, möglichst alle Erscheinungen messend zu erfassen und in Zahlen darzustellen.

Der Erfolg dieser Bemühungen ist in der physischen Geographie wegen der Komplexität der natürlichen Gegebenheiten und Wechselbeziehungen sehr unterschiedlich. Methoden, die z.B. die Formen des Flachlandes gut wiedergeben, sind oft auf das Bergland nicht anwendbar, was eine Uneinheitlichkeit der Meß- und Darstellungsformen zur Folge hat. Ferner liegt kaum eine Landschaftsform isoliert neben der anderen, vielmehr verzahnen sich Räume verschiedener Formen, so daß in den Übergangszonen es dem Bearbeiter überlassen bleibt, welchem Kernraum er sie als Randgebiet zuordnet, wodurch die hauptsächliche Stärke der Zahl, die Objektivität in Frage gestellt wird.

Angesichts dieser Schwierigkeiten hat die Morphometrie, nach den vielfältigen Versuchen vor dem zweiten Weltkrieg in neuerer Zeit kaum mehr große Impulse erhalten. Nicht zuletzt wohl deshalb, weil der bei vielen Methoden enorme Arbeitsaufwand die nicht immer sicheren Ergebnisse kaum rechtfertigt. In seiner Kritik der Morphometrie verlangt Neuenschwander: "Die Morphometrie darf nicht zum Selbstzweck werden; ihre Methoden sollen nur als Hilfsmittel bei der Klarstellung und Lösung von ganz bestimmten Fragen Verwendung finden."[1)]

Aussagekräftige Zahlen kann man eher auf eng begrenzten Gebieten erhalten, wenn man z.B. einzelne Berge oder Täler miteinander vergleicht, indem man die üblichen Angaben der absoluten Höhe (über NN) durch die relative ergänzt.

Die Limnologie hat verschiedene Maßzahlen entwickelt, die den Zusammenhang physikalischer, chemischer und biologischer Abläufe mit der Morphologie der Seebecken veranschaulichen sollen. Diese Maßzahlen werden auch bei der Untersuchung von Talsperren angewendet, für die ja die gleichen Gesetze gelten wie für natürliche Seen.

Hinsichtlich ihrer Form weichen künstliche Seen von natürlichen jedoch generell mehr oder weniger stark ab. Dadurch daß Täler oder Talsysteme aufgestaut werden, haben Stauseen zumeist langgestreckte, oft auch verzweigte Formen, worin sie mit einigen natürlichen Seen übereinstimmen: mit den ähnlich entstandenen Bergsturzseen, sowie einigen tektonischen Grabenseen und glazialen und postglazialen Rinnenseen.

Ein wesentlicher Unterschied ergibt sich aus der verschiedenen Entstehungsgeschichte natürlicher und künstlicher Seen: Abgesehen von bestimmten "Katastrophenseen" (wie Bergsturzseen), die quasi täglich entstehen können,

---

1) Neuenschwander, Gustav, 1944

sind natürliche Seen seit Jahrhunderten oder Jahrtausenden Akkumulationsgebiet. In den sehr jungen Talsperren - nur wenige wurden schon im vorigen Jahrhundert angelegt - sind aber noch in vollem Umfang die Formen erhalten, die die Erosion der Flüsse und Bäche bis zum Einstau des jeweiligen Tals geschaffen haben. So hat der Sperrengrund ein gleichsinniges Gefälle vom Eintritt der Zuflüsse bis zum Sperrbauwerk. Dort befindet sich auch zumeist die Entnahmeeinrichtung, so daß wir es mit einem extremen Typ von Durchflußseen zu tun haben

Vor allem aber sind die Böschungen eines Staubeckens durch die Abtragung wesentlich steiler gestaltet worden, als sie in den meisten natürlichen Seebecken erhalten sind.

Einige der in der Limnologie gebräuchlichen Maßzahlen, die auch in Beschreibungen von Talsperren immer auftauchen und mit deren Hilfe versucht wird, die physikalischen, biologischen und chemischen Vorgänge in Stauseen analog zu natürlichen Seen zu erklären, sollen in dieser Arbeit auf ihre Aussagekraft untersucht werden. Dabei soll herausgestellt werden, inwieweit die für natürliche Seen entwickelten Parameter auf Talsperren mit ihren völlig anderen morphologischen Gegebenheiten anwendbar sind. Der rein größenmäßige Vergleich ist natürlich möglich, aber weisen auch die Vorgänge, die aus diesen Größen (z.B. Oberfläche, Tiefe usw.) resultieren, eine Parallelität auf?

Zur Klärung dieser Frage werden das Manganproblem und der Bodenfaktor herausgegriffen.

Die Ursachen der hohen Mangankonzentration schienen bislang von Seiten der Chemie und Biologie nicht eindeutig zu klären. Da die Reduktion und Lösung des Mangans vom Talboden oder dem ihn bedeckenden Schlamm in Talsperren ausgeht, gilt der Bodenfaktor (das Verhältnis der benetzten Fläche zum Wasservolumen) als Indikator dieses Vorgangs.

Einleitend werden die Wahnbachtalsperre und die Riveristalsperre, die als Vergleichsbeispiel dieser Arbeit dienen, im Hinblick auf die das Stauwasser beeinflussenden Faktoren geographisch beschrieben.

Eine Erklärung der physikalischen, chemischen und biologischen Vorgänge im Seewasser wird der Beschreibung der Probenanalysen vorausgeschickt.

Die hier verwandten Probenanalysen stammen aus den Unterlagen des Wahnbachtalsperrenverbandes und der Stadtwerke Trier. Aus den Betriebsjahren wurden einzelne ausgewählt, in denen verschiedene Analysen sich gegenseitig ergänzen und ein umfassendes Bild ergeben. Dem schon erwähnten Manganproblem wird dabei besondere Aufmerksamkeit gewidmet.

Den Abschluß bildet der Versuch, die Frage der Herkunft des reduktionsfähigen Mangans zu klären.

II. Beschreibung des Bearbeitungsgebietes

1. Der Wahnbach

a) Lage und Größe

Der Wahnbach ist ein rechter Nebenfluß der unteren Sieg, die bis zu ihrer Mündung in den Rhein von rechts nur noch die Agger aufnimmt (vgl. Topographische Karte 1 : 50.000 Blatt 5108, 5110, 5308).

Als Ursprung des Wahnbachs wird eine Quelle am Ortsausgang von Drabenderhöhe (H 56.421, R 26.020) angesehen, obwohl der etwa 1 km unterhalb einmündende Bach, der bei Obermiebach entspringt, etwas länger ist. Nach ca. 20 km Lauflänge fließt der Wahnbach bei der Herkenrather Mühle (H 56.350, R 25.930) in das Vorbecken der Wahnbachtalsperre, die insgesamt 5,5 km lang ist. Unterhalb der Staustelle (H 56.303, R 25.902) mündet er nach 2 km bei Seligenthal (H 56.294, R 25.900) in die Sieg.

Der Bach fließt in einem meist gut als Sohlental ausgebildeten Tal, in dem er an einigen Stellen (südlich von Much) etwas mäandriert und von Naßwiesen begleitet wird. Bei Kreuzbroich/Kreuzkapelle durchfließt er den 250 m langen Herrenteich, einen ehemaligen Mühlenteich.

b) Höhenlage und Gefälle

Die Quelle liegt bei 295 m NN (siehe Abb. 1), der Herrenteich (11 km laufabwärts) auf 168,9 m NN, der Einlauf in das Talsperrenvorbecken bei 125 m NN, der Auslauf aus der Talsperre bei 79 m NN und die Mündung in die Sieg auf der Höhe 64 m NN. Das Verhältnis der Lauflänge zum Höhenunterschied Quelle - Mündung beträgt 119 m : 1 m, das entspricht einem Gefälle von 8,4 °/oo.

c) Wasserführung

Die durchschnittliche Niederschlagshöhe im Einzugsgebiet

des Wahnbachs liegt bei 1.029 mm/Jahr, der Wahnbach hat eine mittlere Abflußspende (gemessen am Vorsperreneinlauf) von 39,9 Mio m^3. Die Jahreswasserfracht entfällt im Mittel zu 73 % auf den Winter und zu 27 % auf den Sommer, doch schwanken diese Werte von 90 : 10 bis 52 : 48. Der minimale Abfluß beträgt 16,33 hm^3, der maximale 52,43 hm^3.

2. Das Wahnbach-Einzugsgebiet

a) Lage und Größe

Das Einzugsgebiet des Wahnbachs erstreckt sich über knapp 20 km (bis Sperrmauer) bzw. gut 21 km (bis Mündung in die Sieg) in nordost-südwestlicher Richtung. Es hat eine Fläche von 69,3 km^2. Im Ober- und Mittellauf (bis zur Linie Höfferhof-Niederwennerscheid-Hausen) ist es mit 4 bis 5 km Breite erheblich breiter als im Unterlauf mit 2,5 bis 4 km. Die Grenzen des Einzugsgebietes werden durchweg von Straßen und Wegen mehr oder weniger exakt nachgezeichnet: im N, NW und W von dem Weg II B Drabenderhöhe-Heckhaus-Gerlinghausen, der Straße I B Gerlinghausen-Eckhausen-Bövingen, dem Weg II A Bövingen-Hevinghausen-Weißenporz (letztes Stück als I B), sodann von der Bundesstraße 56 vorbei an Seelscheid (das außerhalb des Einzugsgebietes liegt), Heister, Pohlhausen, Straßen, Hochhausen, Braschoß, Schreck (innerhalb des Einzugsgebietes). Bei Heide, Schnittpunkt B 56/Kote 180 biegt die Grenze nach S ab und verläuft am Wasserwerk vorbei über Gut Umschoß (überwiegend außerhalb) auf den Staudamm zu.

Im E und SE wird die Grenze gebildet von der Straße I B Drabenderhöhe-Hündekausen, dem Weg II B Hündekausen-Ober-Bonrath-Wersch (alle noch jenseits der Wasserscheide liegend), dann von der Straße I B Wersch-Neunkirchen sowie der Straße I A Neunkirchen-Happerschoß. In Happerschoß biegt die Grenze nach NW ab und folgt im wesentlichen dem

Weg II A in Richtung Sperrwerk. Läßt man die Staustelle außeracht, setzt sich die Wasserscheide von Happerschoß, über die Siegenhardt zur Grube Ziethen zwischen Weingartsgasse (außerhalb) und Seligenthal (innerhalb des Einzugsgebietes) fort.

Die benachbarten Flußgebiete sind: im W, NW und N die Agger mit den linken Nebenbächen Naaf und Wiehl. Die Wiehl umgreift das Wahnbachgebiet im N und NE. Im SE grenzt das Einzugsgebiet des Wahnbaches an das des Brölbachs.

b) Höhenlage und Reliefenergie

Die Wasserscheide zur Agger erreicht im N 384 m (Heckberg), im NW 301 m NN (bei Eckhausen), bleibt südlich Seelscheid unter 220 m und ab Schreck unter 200 m. Zur Wiehl im NE und zum Brölbach im E erreicht die Wasserscheide max.nur 324 m NN (2,5 km westlich von Much) und 2,5 km weiter südwestlich im Spielberg nur noch 243,7 m NN. An Neunkirchen wird die 220 m - Kote nicht mehr überschritten, aber noch bei Happerschoß liegt die Wasserscheide bei 200 m NN. Die Sättel zwischen den Höchstpunkten liegen selten mehr als 20 m niedriger, nur im N und NW sind stärkere Bewegungen zu verzeichnen: Die Wasserscheide steigt von E aus von ca. 340 m zum Heckberg auf 384,2 m und fällt dann auf 350,9 m NN ab und steigt sofort wieder auf 365 m. Die Entfernung vom Sattel 340 m zur Höhe 365 m beträgt 1,5 km.

c) Morphologie

Im unteren Wahnbachtal steigen die bewaldeten Hänge von der Sohle steil (15 bis 30°) auf ca. 17o m NN (rechts) bis 18o m NN (links) an. Zwischen 17o und 19o m ist eine deutliche Schulter erkennbar, von ihr bis zur Wasserscheide und darüber hinaus ist das Gelände flachwellig und erreicht langsam die Höhe 190 bis 220 m NN der Wasserscheide.

Die Hochfläche ist landwirtschaftlich genutzt (siehe Abb. 2), auf ihr liegen die ländlichen Siedlungen. Gegliedert wird die Hochfläche von den Nebenbächen des Wahnbaches, die fast alle bei ca. 200 m NN entspringen und ab 180 bis 170 m ebenfalls steile Talhänge bilden (siehe Karte 2). Oberhalb der Einmündung des Markelsbachs verwischen sich diese Verhältnisse: wie das gesamte Niederschlagsgebiet hier seine größte Breite erreicht, verbreitert sich auch das Wahnbachtal selbst. Die Höhe der Schulter ist hier auf 200 bis 220 m NN verlegt, die Talhänge verlieren talaufwärts ständig an Bedeutung, da die Erosionsbasis Wahnbach schneller ansteigt: auf ca. 170 m beim Herrenteich, 200 m NN bei Much. Zwar sind die Einschnitte des Wahnbaches und seiner Nebenbäche bis zu deren jeweiligen Quellen im Landschafts- und Kartenbild noch gut zu verfolgen, doch sind die Talhänge deutlich verflacht, die Schulter ist nicht mehr zu erkennen und die strenge Scheidung in bewaldete Hänge und landwirtschaftlich genutzte Hochfläche kann nicht mehr ohne Einschränkung vorgenommen werden. Der Wald gewinnt mit dem Anstieg ins Bergische Land die Oberhand, die Siedlungen befinden sich mehr und mehr im Tal und unmittelbar am Wahnbach. Wurde die Grenze des unteren Einzugsgebietes noch von verkehrswichtigen Höhenstraßen gebildet, so sind es im oberen Teil nur noch Fahr- und Wirtschaftswege, während die Bundesstraße 56 dem Bachlauf folgt.

d) Naturräumliche Gliederung

Das Einzugsgebiet des Wahnbachs liegt ganz im Südbergischen Bergland (vgl. Topographische Karte mit Naturräumlicher Gliederung). Erst unmittelbar vor der Mündung des Wahnbaches in die Sieg tritt es in die Rhein-Sieg-Ebene ein, die Sieg fließt hier hart am nordöstlichen Talhang.

Das Südbergische Bergland bricht mit einer steilen Stufe (Siegenhardt) zur Ebene ab. Auf der rechten Seite des Wahnbaches schiebt sich ein kleiner Zipfel der Lohmarer Sandterrassen in das Einzugsgebiet, der bei Münchshecke in einem ausgedehnten Aufschluß (Sandgrube) zutage tritt. Für das Niederschlagsgebiet oberhalb der Staustelle sind die Sande nicht mehr von Belang.
(vgl. Abb. 6)

Nach der Naturräumlichen Gliederung entspringt der Wahnbach an der Nordostspitze der Mucher Hochfläche (zugleich NE-Spitze des Südbergischen Berglandes), tritt bei Much auf die Wahn-Bröl-Hochfläche und erreicht bei Stein die Südbergischen Lößhochflächen. Die morphologische Einteilung trägt einerseits dem landschaftlichen Erscheinungsbild Rechnung und ist andererseits ein getreues Abbild der geologischen Verhältnisse.

e) Geologie

Das Südbergische Bergland besteht als Teil des (rechts-) Rheinischen Schiefergebirges aus devonischen Grauwacken und Tonschiefer (siehe Karte 3). Zu Beginn des Oberen Siegen (= mittleres Unterdevon) fand im Raum des Bergischen Landes und des Niederwesterwaldes eine Transgression (Rheinische Geosynklinale) statt, die im Untersuchungsgebiet mehrere 100 m Flachseesedimente ablagerte. Diese sind hier als Wahnbachschichten und nordöstlich der Linie Seelscheid-Neunkirchen als Odenspieler Schichten in die Literatur eingegangen. Als Zeugen zwischenzeitlichen Trockenfallens sind im Wahnbachtal Reste von Psilophythen gefunden worden. Die Grauwacken treten als Grauwackenschiefer (Siltstein) auf und enthalten kaum Quarzit. Am Müncheberg befindet sich ein guter Grauwackenaufschluß, hier wurde Baumaterial für den Staudamm gebrochen (siehe Abb. 3).

Die varistische Gebirgsbildung machte das Rheinische Schiefergebirge im wesentlichen endgültig landfest

(Haupthebungsphase nach H. Stille: Oberkarbon = -275 Mio. Jahre) und gleichzeitige oder unmittelbar nachfolgende Faltung legte NE-SW verlaufende Sättel und Mulden an, sowie besonders außerhalb des Untersuchungsgebietes zahlreiche Bruchstörungen. Eine dieser Störungen, in denen häufig Erz- und Mineralösungen auskristallisiert sind, äußert sich in der Gemeinde Much bei Markelsbach in einer noch bestehenden Erzgrube. Einer anderen Störung folgt der Derenbach, sie kommt auch oberhalb der Derenbachquelle in einer Stufe zwischen Franzhäuschen und Heide zum Ausdruck. Eine Falte ist unmittelbar an der Straße oberhalb der Herkenrather Mühle sehr gut aufgeschlossen (siehe Abb. 4).

Der Rand des Gebirges, hier bei Seligenthal, geht großenteils auf eine Bruchstufe zurück, doch verzahnt er sich mit den diluvialen Terrassen von Rhein und Sieg. Die Niederterrasse (Würmeiszeit) ist durch einen Zahnfund von Elephas Primigenius bei Seligenthal belegt.

Die meist NW-SE, also etwa rechtwinklig zu den varistischen Sätteln und Mulden verlaufenden Bruchlinien haben vielfach dem tertiären Vulkanismus als Ventil gedient: Zwischen Happerschoß und Heisterschoß (Höhe 198 m) ist ein Basaltvorkommen mit gut ausgebildeten Säulen aufgeschlossen (siehe Abb. 5 a, b). Es ist neben den Siegburger Vulkanen (Michaelsberg und Wolsberge) als nordöstlichster Ausläufer des Siebengebirgsvulkanismus anzusehen.

An dem varistisch gefalteten Devonmaterial haben die exogenen Kräfte das ganze Mesozoikum hindurch gearbeitet. Dann, zu Beginn des Tertiärs, verwitterten die Grauwacken tonig und tiefgreifend, das Gebirge wurde zur präoligozänen Rumpffläche eingeebnet (siehe Abb. 2). Diese wurde periglazial mit Flugsand und Löß abgedeckt.

Der Löß, weitgehend zu Lößlehm entkalkt, tritt als morphologisches Formelement deutlich hervor (vgl. Karten 2, 3). In ihm sind die vielen kurzen Seitengewässer scharf

eingeschnitten. Diese Formen sind im Kartenbild mit der außergewöhnlich häufig auftretenden Steilrandsignatur festgehalten und werden im Südbergischen "Siefen" genannt (siehe Abb. 7). Im Untersuchungsgebiet finden sich Ortsnamen wie: Siefen, Balensiefen, Hirtsiefen.

Die Grenzfläche des Lößlehms zum Liegenden (devonische Grauwacken) wird durch die obenerwähnte Talschulter zwischen 170 und 190 m NN deutlich markiert. Die Siefen sind die meist linienhaft in den Löß und Lößlehm eingeschnittenen Zubringer der Bäche. Sie enden oben in einem steilen Quellkopf, der sich meist durch rückschreitendes Einschneiden auf die Wasserscheide zuarbeitet. Die Siefen sind vielfach der Ausgangs- bzw. Zielpunkt einer starken, deutlich beobachtbaren Erosion, da sie das oberirdisch abfließende Wasser nach Stark- oder Landregen mit dessen Schwemmfracht aufnehmen und abführen.[1)]

f) Hydrologie

Wenn die Siefen auch überwiegend durch oberflächlichen Abfluß gespeist werden, so bedingt das hohe Wasserhaltevermögen des Löß und Lößlehms doch eine längere Wasserführung noch nach den Perioden starker oder lang anhaltender Niederschläge bzw. nach der Schneeschmelze.

An der Grenze zwischen Lößlehm und dem Liegenden (170 - 190 m im unteren Wahnbachgebiet) läßt sich ein Quellhorizont vermuten, der aber nicht überall deutlich erkennbar ist.

Das Devon selbst ist kaum wasserführend, der Gehängeschutt ist meist gut durchfeuchtet, doch sammelt sich das austretende Wasser kaum in Gerinnen, wie auch Störungen in der Grauwacke nicht zu nennenswerten Kluftquellen führen.

Der Niederschlagsreichtum im Einzugsgebiet des Wahnbaches sowie des gesamten SW - Bergischen Berglandes ist durch die vorherrschenden feuchten Westwinde bedingt. Das

---

[1)] Müller-Miny, Heinrich, 1954

rechtsrheinische Schiefergebirge legt weiter nach Norden aus als das linksrheinische, daher finden Luftströmungen aus westlichen Richtungen ungehindert Zugang und regnen sich hier mit zunehmender Höhenlage des Mittelgebirges ab. Im alljährlichen Mittel fallen im Wahnbachgebiet 1.029 mm Niederschlag, im 350 m hoch gelegenen Quellgebiet bei Drabender Höhe über 1.200 mm, im Mittellauf (Much bis Talsperre) 900 bis 1.100 mm, im Unterlauf (ab Mitte Talsperre) 800 bis 900 mm. Der Niederschlagsreichtum hat (natürlich in Verbindung mit dem hohen Wasserbedarf der benachbarten Siedlungs- und Industriegebiete) im nördlichen rechtsrheinischen Schiefergebirge schon seit fast 100 Jahren zum Bau zahlreicher Talsperren geführt.

g) Besiedlung

Das Siedlungsbild des Wahnbacheinzugsgebietes wird durch Kleinsiedlungsformen bestimmt: Es herrschen Weiler- und Einzelhofsiedlungen vor. Nur der Ort Much kann als Haufendorf angesprochen werden, drei weitere Orte (Seelscheid, Neunkirchen, Happerschoß) sind dem Einzugsgebiet nur teilweise zuzurechnen, da sie direkt auf der Wasserscheide, Seelscheid sogar knapp jenseits liegen. Die Wohnplätze Braschoß und Schneffelrath, etwas nördlich des Staudammes, sind Ortsteile von Siegburg geworden. Im ganzen Gebiet gibt es keine Siedlung mit mehr als 1.000 Einwohnern (1950):

Gemeinde Much mit insgesamt[1]	83	Wohnpl.:	7275	Einwohner
Amt Neunkirchen	"	"	40	"	: 6419	"
Braschoß	"	"	7	"	: 1780	"
Happerschoß	"	"	3	"	: 1076	"

Von den 83 Wohnplätzen der Gemeinde Much beherbergen 27 (ca. 34 %) unter 50 Einwohner!

---

[1] Die Wohnplätze liegen nicht alle im Einzugsgebiet des Wahnbaches

Neben der Kleinheit der Siedlungen fällt ihre sehr dichte Lage auf: Sie sind meistens nur 1 - 2 km voneinander entfernt.

Wie schon oben erwähnt, liegen die Siedlungen im Unterlauf des Wahnbaches ausschließlich auf den Riedeln inmitten der landwirtschaftlichen Nutzflächen. Nur Seligenthal liegt kurz vor dem Eintritt des Wahnbaches in die Siegniederung unmittelbar am Bach, außerdem zwei Mühlen: die jetzt überstaute Luttersmühle und die Herkenrather Mühle am Einlauf des Wahnbaches in die Vorsperre. Im Mittel- und Oberlauf oberhalb der Einmündung des Markelsbaches, wo das Tal breiter wird, und nur noch ca. 50 m tiefer liegt als die Hochfläche, befinden sich die Weiler auch unmittelbar am Bachlauf.

Die Vielzahl der meist sehr kleinen Siedlungen bedingt die großen Schwierigkeiten einer zentralen Abwasserbeseitigung: von den meisten Wohnplätzen gehen die Abwässer ungeklärt in den Wahnbach und die Nebenbäche, sogar in die unteren, die direkt in die Talsperre münden. Erst die 1968/69 durchgesetzte Schutzzonen-Verordnung wird hier eine Verbesserung bringen.

3. Die Wahnbachtalsperre

Die Wahnbachtalsperre wurde in den Jahren 1955/56 von dem zu diesem Zweck gegründeten Wahnbachtalsperrenverband (WTV) gebaut. Sie wurde nach einem Probestau 1956 zu Beginn des Wasserwirtschaftsjahres 1958/59 in Betrieb genommen und versorgt ein sich seither ständig vergrößerndes Gebiet mit Trinkwasser.

Mitglieder des WTV sind die Stadt und der Kreis Bonn, die Stadt Siegburg und der Siegkreis sowie die Phrixwerke Siegburg, die aus der Talsperre nicht aufbereitetes Brauchwasser beziehen.

Die Staustelle der Wahnbachtalsperre wurde unterhalb des letzten bedeutenden rechten Zuflusses "Derenbach" gewählt. Aus baugrundgeologischen Gründen wurde der jetzt unmittelbar unterhalb des Sperrwerks von links mündende Bach nicht mehr erfaßt.[1)]

Die Talsohle liegt an der Staustelle bei 79 m NN, das Stauziel der Sperre bei 124,1 m NN. Der 46,5 m hohe Damm staut 43,2 hm^3 in einem 5,5 km langen Becken (siehe Abb. 8, 9).

Durch die Windungen des Tales und die zum Teil weit hereinreichenden Riedel (Grauwackenhärtlinge Müncheberg, Ringelstein, Kreuzberg) wird der See in einzelne Becken unterteilt, was strömungsdynamisch von Bedeutung ist. Ferner befindet sich im oberen Teil, ca. 700 m unterhalb der Vorsperre, eine Bodenschwelle: eine Brücke der Wahnbachtalstraße, die bis zur Herkenrather Mühle überstaut wurde, ist mit Steinen zugeschüttet worden.[2)]

Die Täler der Nebenflüsse sind bezogen auf ihr Volumen und ihren Wert als Gliederungsfaktor (Nebenbecken) von geringerer Bedeutung: durch ihr starkes Gefälle und ihre steilen Hänge laufen sie vom Staubecken aufwärts bald aus.

4. Das Riveristal

a) Der Riverisbach (auch: die Riveris)

Der Riverisbach ist ein rechter Nebenfluß der Ruwer (vgl. TK 25 6206, 6306, 6207, 6307). Seine Quellen (Eschbach und Altweiherbach) liegen im Osburger Hochwald bei 560 - 590 m NN, auch die beiden anderen Zuflüsse vor Eintritt in die Sperre entspringen auf dieser Höhe. Bei 320 m NN tritt der Riverisbach in das Vorbecken der Talsperre ein.

---

1) Wahnbachtalsperrenverband: Geologische Gutachten
2) In den topographischen Unterlagen der thematischen Karten, die den Zustand vor dem Bau der Talsperre festhalten, ist die Straßenbrücke noch verzeichnet.

5 km unterhalb des Sperrdammes (R 25.55100, H 55.08100) mündet der Riverisbach kurz vor dem Ort Waldrach in die Ruwer (160 m NN).

Als weiterer Nebenbach mündet der Thielenbach (Quelle: 495 m NN) direkt in den Stausee, das aufgestaute Tal bildet einen Seitenarm der Talsperre (siehe Abb. 9).

b) Das Einzugsgebiet

Das Einzugsgebiet der Talsperre umfaßt 21,8 km^2, seine größte Ausdehnung in WE-Richtung beträgt 8 km, in NS-Richtung 4 km. Die Grenze des Niederschlagsgebietes steigt von 435 m NN im NW über 544 m im NE auf 668,9 m NN. Im SE erreicht sie mit 708,2 m die größte Höhe und fällt dann wieder fast gleichmäßig in W- und NW-Richtung bis 319 m NN am Sperrdamm. Sie wird nur sehr selten von Straßen und Wegen nachgezeichnet.

Die geologischen Verhältnisse im Bereich der Riveristalsperre sind in Bezug auf Alter und Tracht der Grundgebirge denen des Wahnbachtals sehr ähnlich. Die in der Karte als Hunsrückschiefer und Dhroner Quarzite ausgewiesenen Metamorphite entstammen wie die Wahnbachschichten der Siegenstufe des Unterdevon. Sie umfassen alle Abarten und Übergänge der Reihe Quarzit - Tonschiefer (Quarzit selbst ist beim Wahnbach nicht vorhanden) (siehe Abb. 10).

Das Einzugsgebiet ist zu fast 90 % bewaldet, nur am NW- und SW-Rand befinden sich einige Ackerflächen. Laubwald überwiegt, der im nördlichen Teil ab 450 m NN in Mischwald und ab 500 m NN in Nadelwald übergeht. Siedlungen befinden sich innerhalb der Grenzen des Einzugsgebietes nicht.

Im Mittel fallen 920 mm Niederschlag pro Jahr, die einen Abfluß von 512 mm entsprechend 11 hm^3 erbringen.

c) Die Talsperre

Die Riveristalsperre wurde von den Stadtwerken Trier errichtet und versorgt seit 1958 die Stadt Trier mit Trinkwasser.

Die Riveristalsperre hat ein Fassungsvermögen von 4,56 hm^3 (= 44 % des mittleren jährlichen Abflusses = Ausbaugrad 44 %). Das Sperrbauwerk liegt unmittelbar unterhalb der Mündung des Thielenbaches in die Riveris, so daß zwei Becken mit 1400 m und 700 m Länge entstehen. Jeder der beiden Zuflüsse hat ein Vorbecken (Stauziel 320 m NN), das Stauziel der Hauptsperre liegt bei 319 m NN. Am Sperrdamm ist der Stausee 176 m breit und erreicht (bei Vollstau) seine größte Tiefe von 41,5 m.(vgl. Tab. 2,3)

III. Physikalische, chemische und biologische Vorgänge in Seen und Talsperren

1. Physik der Seen

Physikalisch verhält sich eine Talsperre zunächst wie ein natürlicher See. Unter dem Einfluß von Sonneneinstrahlung und Lufttemperatur stellt sich zweimal im Jahr eine Schichtung ein, der jeweils eine Durchmischung des Wassers folgt.

a) Ausbildung der Temperaturschichtung

Wenn im vorgeschrittenen Frühjahr die mittlere Tagestemperatur über die des Wassers steigt, werden die oberen Wasserschichten langsam erwärmt. Diese Erwärmung reicht bei klarem Wasser tiefer, weil die Sonnenstrahlung weiter eindringen kann als in Wasser, das an Trübstoffen reich ist. Andererseits bedingt ein erhöhter Trübstoffgehalt, daß die Strahlungsenergie stärker absorbiert und in Wärme umgesetzt wird. Es wird zwar eine geringere Menge Wasser, diese aber stärker erwärmt.

Durch die Wärmeleitung des Wassers und oberflächliche Durchmischung, die von dem angreifenden und über den Wasserspiegel streichenden Wind bewirkt wird, setzt sich die Erwärmung bis in etwa 5 bis 10 m Tiefe fort.

An der Wirkungsgrenze dieser Faktoren, die das Seewasser von der Oberfläche her erwärmen, setzt die Sprungschicht (Metalimnion) ein. Sie wird in der Limnologie als die Schicht definiert, innerhalb der die Temperatur mit jedem Meter Tiefe um mehr als 1° C sinkt. Sowohl bei der Wahnbach- als auch bei der Riveristalsperre wird dieser Definitionswert nicht oder nur selten erreicht. Die Abbildungen 12 und 2o zeigen, daß die Sprungschicht an Hand der Verteilung der Inhaltsstoffe trotzdem deutlich erkennbar bleibt; sie ist auch als Pufferschicht wirksam, die eine Durchmischung des gesamten Seewassers verhindert (vgl. S.63).

Unter dem Metalimnion mit seiner relativ starken vertikalen Temperaturabnahme befindet sich das Hypolimnion, dessen Temperatur zwischen der des winterlichen Tiefenwassers und der des im Frühjahr durchmischten Sees liegt, je nachdem wie schnell sich die Schichtung stabilisiert hat. Von oben nach unten ist der Temperaturabfall im Hypolimnion nur sehr gering.

b) Der stabil geschichtete See

Mit fortschreitender Erwärmung des Sees wird die Schichtung zunehmend stabiler. Am Grund des Seebeckens befindet sich das kälteste (um 4°) und dichteste Wasser: Von der tiefsten Stelle der Wahnbachtalsperre bis ca. 15 m unter der Oberfläche steigt die Temperatur nur um 1 - 2° C von 5° auf 6 - 7° C. Entsprechend wenig verringert sich dabei die Dichte, so daß das Hypolimnion in sich instabil [1] ist.

In der darüberliegenden etwa 7 - 8 m mächtigen Wasserschicht nimmt die Temperatur nach oben sehr schnell zu: von ca. 6° auf 12 - 16°, im Hochsommer bis 20° C. Ebenso stark nimmt die Dichte des Wassers nach oben ab, so daß das Metalimnion sehr stabil ist.

Oberhalb dieses Temperatur- und Dichtesprungs wird das Wasser im Sommer gleichmäßig erwärmt und vom Wind durchmischt. Die Temperaturdifferenz im 5 - 8 m mächtigen Epilimnion beträgt wieder nur 1 - 2° C, nämlich entsprechend der mittleren Tagestemperatur 18 - 22° C an der Oberfläche und 16 - 20° C zur Sprungschicht hin.

Durch die Wärmeleitung und Durchmischung des instabilen Epilimnions werden im Spätsommer die oberen Bereiche des Metalimnions langsam in den Warmwasserbereich einbezogen und so die Sprungschicht langsam hinabgedrückt (vgl. Abb. 20).

---

[1] In der Limnologie wird eine Schichtung von geringer Stabilität als instabil oder labil bezeichnet (vgl. Keller R 1961).

c) Herbstzirkulation und evtl. Winterstagnation

Die Abkühlung des Sees im Herbst erfolgt ebenfalls von der Oberfläche her: Das Epilimnion erreicht die Temperatur der Sprungschicht, wodurch deren Stabilität von oben angegriffen wird bis sie sich auflöst. Dadurch wird die gesamte Schichtung des Sees instabil und er kann vom angreifenden Wind voll durchmischt werden. Die Auflösung der thermischen Schichtung in der Riveristalsperre wird in Abb. 20 (Okt./ Nov.) deutlich.

Ob sich im Winter wieder eine Schichtung ausprägt, hängt von der winterlichen Mitteltemperatur der Luft und der Sonneneinstrahlung ab. Wenn der See von oben weit unter $+4^{\circ}$ C abgekühlt wird, stellt sich eine umgekehrte Temperaturschichtung ein: Das dichteste (Dichte 1,0) und jetzt wärmste ($+4^{\circ}$ C) Wasser befindet sich als Hypolimnion am Grund der Sperre, in der Sprungschicht wird es von unten nach oben kälter, und die Temperatur des Epilimnions liegt um 0° C. Eine weitere Abkühlung wird durch Eisbildung weitgehend verhindert, da die Oberfläche vor dem angreifenden Wind geschützt und keine Konvektion mehr möglich ist.

Diese durch die Anomalie des Wassers bedingte inverse Schichtung ist sehr wenig stabil, wenn es überhaupt zu einer regelrechten Stagnation kommt. Denn das Dichteintervall zwischen $+4^{\circ}$ und 0° C, das allein die Stabilität verursachen könnte, beträgt nur 1,000 000 : 0,999 868
gegenüber z.B. 1,000 000 : 0,998 970
als Dichteunterschied zwischen Wasser von $+4^{\circ}$ und $+16^{\circ}$ C als Extremwerte einer Sommerstagnation. Abb. 20 zeigt für die Riveristalsperre von November 1961 bis April 1962 durchgehende Vollzirkulation.

d) Frühjahrszirkulation

Oft geht also die Herbstzirkulation ohne Winterstagnation in die Frühjahrszirkulation über. Wenn die frühjährliche Erwärmung des Wassers langsam genug erfolgt, dauert die Vollzirkulation lange an, bevor sich eine neue Schichtung

auszubilden beginnt. Auf diese Weise wird das Hypolimnion z.T. weit über 4° C erwärmt: im Sommer 1961 war das Tiefenwasser in der Wahnbachtalsperre 6 - 7° C warm.

e) Einschichtung der Zuläufe

Die Zuläufe werden sich stets in der Tiefe einschichten, die ihrer Temperatur und Dichte entspricht. Sollten diese Bedingungen erst in großer Tiefe vorliegen, benutzt der Bach in einer Talsperre sein altes Bett bis er auf die entsprechende Tiefenstufe gelangt. Auch nach der Einschichtung ist ein Zufluß oft noch als zusammenhängender Strom bis weit in das Seebecken nachweisbar. Es kann, wenn die Rohwasserentnahme aus der Sperre in der Temperaturschicht von Zuläufen erfolgt, zu sogenannten Kurzschlußströmungen kommen: Das Zuflußwasser wird nach einer minimalen Verweildauer (hier also gleich Durchflußdauer) gefördert, ohne an den notwendigen seebiologischen Prozessen teilgehabt zu haben, d.h. ohne biologische Vorklärung.[1)] Dies verdeutlicht die Problematik von Verweildauerberechnungen und die Notwendigkeit einer Beckengliederung durch künstliche Bodenschwellen und natürliche Riedel und Talbiegungen.

f) Unterschiede natürlicher und künstlicher Seen

Eine Talsperre weicht von den natürlichen physikalischen Gegebenheiten insbesondere dadurch ab, daß die Temperaturschichtung mehr oder weniger beabsichtigt beeinflußt werden kann.

Die Wasserentnahme erfolgt am oder in unmittelbarer Nähe vom Sperrbauwerk:

1. bei sehr hohem Wasserstand über die Hochwasserentlastung an der Oberfläche,
2. über den Grundablaß an der tiefsten Stelle des Beckens, d.h. meistens am unteren Ende des ehemaligen Bachlaufs,

---

[1)] Grim, Julius, 1959

3. über das eigentliche Entnahmebauwerk bei dem das Roh- oder Nutzwasser aus verschiedenen Tiefen entnommen werden kann.

Im normalen Betrieb und wenn es der Wasserhaushalt zuläßt, wird über den Grundablaß manchmal Tiefenwasser abgezogen, um die darin gelösten Stoffe bei der bevorstehenden Zirkulationsperiode nicht in das gesamte Sperrenwasser gelangen zu lassen. Hierbei kommt es entweder zu einer gleichmäßigen Volumenabnahme des Hypolimnions und Absenkung der darüberliegenden Bereiche, oder es bildet sich ein Sogtrichter, der Meta- und Epilimnion stören kann. Auch wird zuweilen der Grundablaß in Intervallen geöffnet und geschlossen, wodurch eine stehende Welle entsteht, die die sperrenaufwärts am Grund liegenden Wassermassen dem Grundablaß zuführen soll. Zwar wird damit der Sogtrichter vermieden, die Schichten werden aber in eine lebhafte Auf- und Abbewegung versetzt, die auf ihre Stabilität nicht ohne Einfluß sein kann.

Die Entnahmetiefe des Rohwassers richtet sich nach verschiedenen Bedingungen, im wesentlichen Reinheit und Temperatur; es gibt auch von den Wasserwirtschaftsämtern vorgeschriebene Mindestentfernungen zwischen Entnahmetiefe und Grund bzw. Oberfläche. Ständige Analysen des gezapften Rohwassers und des Sperrenwassers in verschiedenen Tiefen sollen eine optimale Primärqualität gewährleisten, damit die Aufbereitung möglichst wirtschaftlich durchgeführt werden kann. Außerdem darf eine Höchsttemperatur des Wassers (12° C) nicht überschritten werden, weil wärmeres Wasser vom Trinkwasserverbraucher als unangenehm (subjektiv unsauber) empfunden wird. Da nun das Wasser bei der Aufbereitung eher wärmer als kälter wird, muß das Rohwasser, zumal im Sommer, überwiegend aus dem hypolimnischen, allenfalls dem unteren metalimnischen Bereich entnommen werden. Auch hierdurch ergibt sich also eine Veränderung der natürlichen Verhältnisse.

Ganz und gar zerstört wird die Schichtung - wie sich an einem Versuch an der Wahnbachtalsperre gezeigt hat - durch eine Belüftung des Wassers, um anaerobe Verhältnisse am Sperrengrund zu verhindern. Nach dem Prinzip einer Aquarienbelüftung wurde Luft mit Schläuchen in die unterste Wasserschicht gepumpt. Das sauerstoffreiche Wasser stieg nach oben und hatte binnen drei Wochen die Schichtung aufgehoben. Im Sommer würde das dazu führen, daß das gesamte Sperrenwasser über 12° C erwärmt und somit als Trinkwasser unbrauchbar wäre. An der Wahnbachtalsperre wurde daher eine Einrichtung konstruiert, die es erlaubt, nur das Hypolimnion zu belüften ohne das darüberliegende Wasser in Bewegung zu bringen (siehe Abb. 13).

2. Biologie und Chemie der Seen

Der mikrobiologische Inhalt des Seewassers wird in physikalischer Hinsicht im wesentlichen von der Wassertemperatur und der Durchlichtung bestimmt. Für das Plankton ergibt sich daher ein (oberer) trophogener und ein (unterer) tropholytischer Bereich. Dadurch stehen die Seebiologie und die Hydrochemie in enger ständiger Wechselbeziehung.

Sauerstoff, Phosphat und Nitrat bilden die überwiegende Lebensgrundlage des Planktons, daher richtet sich die quantitative Entwicklung nach dem Vorhandensein des "Minimumstoffes", der eine Steuerungsfunktion ausübt.

In der tropholytischen Zone geben die abgestorbenen Organismen einen Teil der aufgenommenen Stoffe verändert wieder ab, z.B. Stickstoff, und entnehmen dem Wasser andererseits den für die Oxydation der organischen Reste benötigten Sauerstoff. Wird durch ein großzügiges Phosphatangebot (Minimumstoff) eine Massenproduktion von Plankton angeregt, so reicht meist im Hypolimnion der Sauerstoff nicht mehr aus, um die abgestorbenen Biomassen

zu oxydieren. Es setzen Reduktionsprozesse ein, die sich oft zu großen Problemen auswachsen (siehe weiter unten).

a) Sauerstoff

Der Sauerstoff gelangt durch Luftkontakt ins Wasser. Die Zuflüsse haben im Verhältnis zu ihrer Wassermenge eine relativ sehr große Oberfläche. Durch dauernde Umlagerung beim Fließvorgang wird das gesamte Wasser gleichmäßig mit Sauerstoff versorgt. An Hindernissen im Wasser tritt Versprühung und dadurch schnell eine Sauerstoffübersättigung ein. Mit Eintritt in den See verändert sich das Verhältnis Volumen zu Oberfläche des Baches schlagartig, und durch die Schichtung wird der Austausch sauerstoffreichen Wassers des oberflächennahen Bereichs gegen sauerstoffärmeres Tiefenwasser verhindert. Allein das Zuflußwasser kann die Sauerstoffsättigung der Schicht, in die es sich temperaturbedingt einschichtet, positiv beeinflussen.

Die Sauerstoffabgabe der Phytoplankter im trophogenen Bereich bringt den oberen, ohnehin schon sauerstoffreicheren Schichten zusätzliche Sättigung. Dem Sauerstoffangebot steht eine zunehmende Zehrung von der Oberfläche zum Grund gegenüber (siehe Abb. 12).

Schon während des langsamen Absinkens wird das tote Plankton weitgehend oxydiert, die Anhäufung der abgestorbenen Biomasse am Seegrund hat hier eine sprunghafte Abnahme der Sauerstoffsättigung auf Werte zwischen 1 und 0 % zur Folge.

b) Stickstoff

Der im Seewasser vorhandene elementare Stickstoff wird fast ausschließlich aus der Atmosphäre aufgenommen.

Hingegen stammen die Stickstoffverbindungen nur zum geringsten Teil aus der Luft und werden durch Niederschläge dem See direkt zugeführt.

Da Stickstoff und Phosphor für den Zellaufbau jeder leben-

den Substanz äußerst wichtig sind, hängt die quantitative Entwicklung der Biomasse in einem Stausee von ihrem Vorhandensein ab, obwohl sie in sehr geringen, früher kaum nachweisbaren Mengen ("Spurenelemente") auftreten.

Der Hauptteil anorganischer Stickstoffverbindungen stammt aus dem Abbau tierischen Eiweißes. Das dadurch freiwerdende Ammonium wird durch nitrifizierende Bakterien unter Sauerstoffverbrauch in Nitrat umgesetzt. Dieser Abbau geschieht einerseits im See selbst, andererseits werden aber besonders aus der besiedelten und landwirtschaftlich genutzten Umgebung Ammonium und Nitrat mit den Abwässern über die Zuflüsse dem See zugeleitet.[1)]

c) Phosphor

Phosphat, das gewöhnlich in noch wesentlich kleineren Mengen im Wasser gelöst ist (ca. 1 γ/l), gelangt durch chemische Verwitterung phosphathaltigen Gesteins (z.B. Apatit) in das Wasser.

Auch hier sind es Abwässer, besonders die Abspülung gedüngter landwirtschaftlicher Nutzflächen, die dem See große Mengen dieses eigentlichen Minimumstoffes zuführen. Wegen seiner unmittelbaren Steuerfunktion gegenüber der Bioproduktion muß dem Phosphat größte Beachtung geschenkt werden.

Da überhöhte Phosphatangebot in den Flüssen und Bächen, die nicht einmal als Vorfluter für Abwässer genutzt zu werden brauchen, führt zu einer mehr oder weniger schnellen Eutrophierung des Sees, in den sie fließen, sei es

---

1) "Die Nitrate werden ... durch das Regenwasser aus landwirtschaftlichen Flächen ausgewaschen und in die Bäche eingespült" (Schulze, Eberhard, 1962, S. 229). Schulze führt als Beweis an, daß bei Regen trotz des Verdünnungseffekts der Nitratgehalt der Zuflüsse steigt. "Ähnlich verhalten sich (ungelöste) adsorbtiv an Bodenpartikel gebundene Phosphate." (Bachtrübe bei Regen und Schneeschmelze). "Während gelöstes Phosphat aus Siedlungsabwässern stammt". (Anstieg des Phosphatgehalts nach Ortsdurchfluß).

nun ein natürlicher oder ein künstlich aufgestauter See. Die Eutrophierung einer Talsperre zieht eine Massenproduktion von Plankton nach sich: Im Mai 1969 führte in der Wahnbachtalsperre ein Massenauftreten von Rotalgen (Oscillatoria rubescens) zu einer trüb rötlichen Färbung des Stauwassers, und der Wind trieb am Seeufer regelrechte Algenrasen auf der Oberfläche zusammen. Die Ursache dieser plötzlichen Entwicklung konnte nicht lokalisiert werden, vermutlich wurde ein kritischer Punkt im Nährstoffangebot überschritten.

Die starke Planktonentwicklung ist aus mehreren Gründen sehr unerwünscht:

1. Das Plankton befindet sich auch im abgezogenen Rohwasser und muß in der Wasseraufbereitung eliminiert werden. Bei Massenauftreten verkürzen sich die Filterlaufzeiten, das Wasser muß z.T. vorgechlort oder anders chemisch behandelt werden.

2. Die absterbende Biomasse verbraucht Sauerstoff. Am Seegrund sinkt die Sauerstoffsättigung bis nahe 0%. Sind erst einmal anaerobe Zustände eingetreten, kann nichts mehr oxydiert werden und es treten Faulvorgänge mit entsprechender Schwefelwasserstoffbildung ein. Dann ist das Wasser absolut unbrauchbar.

Die biologischen und chemischen Vorgänge sind im wesentlichen sowohl in natürlichen Seen als auch in Talsperren wirksam. Bedingt durch die unterschiedliche Genese sind Talsperren meist sehr viel tiefer als natürliche Seen vergleichbarer Größe, so daß Vorgänge, die von der Tiefe bestimmt werden (z.B. vertikaler Sauerstoffschwund) verstärkt auftreten.

Die Bewirtschaftung eines Stausees bedeutet einen Eingriff in die natürlichen Abläufe: Das Rohwasser wird unterhalb der trophogenen Zone entnommen, so daß sich zumal im Sommer das tropholytische Volumen stark verringert. Bei niedrigem Wasserstand begrünen sich die gut gedüngten

Uferböschungen schnell und diese Pflanzen müssen bei steigendem Wasser zusätzlich abgebaut werden.

Schließlich wirken sich in Trinkwassertalsperren schon wesentlich geringere Konzentrationen eines Stoffes nachteilig aus als das in natürlichen Seen der Fall ist, wo z.B. Mangan in den Wasserproben meist gar nicht analysiert wird, weil seine Anwesenheit das natürliche Gleichgewicht nicht stört.

IV. Das Manganproblem

1. Reduktion und Lösung

Wenn die organischen Reste wegen Sauerstoffmangels nicht mehr oxydiert werden können sondern faulen, setzt noch ein anderer Vorgang ein, bevor es zur Bildung von Schwefelwasserstoff kommt.

Im Bodenschlamm des Sees bzw. der Talsperre befinden sich Eisen und Mangan, die beide hauptsächlich in zwei verschiedenwertigen Formen vorkommen: Eisen 2- und 3-wertig in Ferro- und Ferri-Verbindungen, Mangan 2- und 4-wertig in Mangano- und Mangani-Verbindungen.

Auf den Chemismus soll nur ganz kurz eingegangen werden.[1)] Das 2-wertige Eisen ist nur ohne weitere Sauerstoffzufuhr beständig, z.B. als Ferrobikarbonat in kohlensäurereichem und sauerstoffarmem Tiefenwasser. Bei Sauerstoffzutritt wird es zu Ferrihydroxyd oxydiert und ist dann im Wasser fast unlöslich, so daß es sedimentiert wird (Ruttner: Hypolimnion = "Eisenfalle"). Auch das 4-wertige Manganioxyd ist unlöslich, neigt aber eher zur Reduktion in 2-wertiges Manganoxyd, wobei Sauerstoff zu anderweitiger Oxydation frei wird. MnO löst sich im Wasser und führt zu hohen Mangan-Konzentrationsspitzen im tiefsten Bereich der Sperre. Mit einsetzender Vollzirkulation im Herbst besteht die Gefahr, daß das manganreiche Wasser in der gesamten Sperre verteilt wird und bei der Trinkwasseraufbereitung mit großem chemischem und folglich wirtschaftlichem Aufwand eliminiert werden muß.

An der Wahnbachtalsperre wird z.Z. eine Phosphateliminierungsanlage installiert, die den Phosphatgehalt des Hauptzuflusses Wahnbach herabsetzen und über diesen Minimumstoff die Bioproduktion begrenzen soll. Dadurch wird die Notwendigkeit zur Reduktion herabgesetzt, weil die Oxydationsmasse geringer wird.

[1)] Über den Mangan-Chemismus vgl. umfangreiche Literatur von Einsele, Hutchinson, Ohle, Ruttner u.a.

Nach W. Ohle (1934, Seite 615) wird "der Anstieg der hypolimnischen Mangan-Konzentration ... einzig und allein autochton vom Sediment aus bewirkt ..." Bei der Wahnbachtalsperre traten die großen Manganspitzen aber schon in den ersten Betriebsjahren auf, als die Sedimentschicht nur wenige mm stark gewesen sein kann, da sie heute (nach mündlicher Auskunft von Herrn Rohde, der über die Stratigraphie des Schlamms arbeitet) erst zwischen 20 und 30 mm mächtig ist. Ohle (ebd., Seite 616) räumt ein, daß die Mangan-Anreicherung auch, wenn auch nur in geringem Maße, auf Detrituszufuhr vom Metalimnion aus beruht.

2. Bearbeitete Probenanalysen

Zur Untersuchung dieser Fragen werden Messungen und Wasseranalysen herangezogen, die vom Wahnbachtalsperrenverband seit Bestehen der Sperre durchgeführt worden sind und z.T. im Laufe der Betriebsjahre nach Zweckmäßigkeitserwägungen ergänzt und erweitert wurden. Die Messungen und Analysen werden für die laufenden Betriebs- und Qualitätskontrollen aber auch für eine wissenschaftliche Erforschung der auftretenden Probleme gemacht. Eigene Messungen liegen nicht vor.

Aus den 10 Betriebsjahren der Talsperre wurden ausgewählt und ausgewertet:

1. Zuflußanalysen (1959 bis 1964)
   Hier wird nur der Wahnbach berücksichtigt, da er 90 % des Gesamtzuflußwassers liefert. Hohe Abweichungen anderer Zuflüsse werden erwähnt, doch können sie das Gesamtbild nur wenig beeinflussen, da sie jeweils nur 1 - 2 % des Zuflußvolumens darstellen.
2. Tiefenschnitte
   Aus der Sperre werden laufend, mindestens einmal pro Woche Wasserproben aus verschiedenen Tiefen entnommen und untersucht. Die Entnahme erfolgt an verschiedenen, festgelegten Stellen (Boje A bis Boje F) von der Oberfläche her in zunächst größeren Abständen (5 - 2 m)

abwärts und in der Bodenzone ab 3 - 2 über Grund in 1 - 0,5 m Abstand.

Berücksichtigt werden 10 Messungen der Monate August bis November 1963, da in dieser Zeit die Proben regelmäßig auch an den oberen Bojen (C, D, E und F) abgezogen wurden, worauf oftmals verzichtet wird. Außerdem liegen einige Manganwerte sowohl "filtriert" als auch "unfiltriert" vor. Schließlich erscheint hier auch die "Lutters-Mühle-Frage"(vgl. S.39).

3. Querprofile und Tiefenschnitte
Zusätzlich zu den laufenden Tiefenschnitten wurden von Mai bis November 1961 an der Boje A noch Proben rechts und links der tiefsten Stelle entnommen. Ab 6 bis 5 m über Grund liegen noch die Messungen I - V vor, die jeweils in 2 bis 0,5 m senkrechtem Abstand durchgeführt wurden. Im Hinblick auf die "Lutters-Mühle-Frage" wurden auch 1963, allerdings nur 2 Querprofile bei Boje F nahe "Lutters-Mühle" angefertigt.
4. Schwebstoffsedimentation
Bei den Bojen B, C, E und F hängen in verschiedenen Tiefen Töpfe, die mit der Öffnung nach oben absinkende Schwebstoffe auffangen. Diese Sedimentproben werden alle 3 Monate entnommen und analysiert. Die Jahre 1964 bis 1967 liegen vor.
5. Bodensedimente
Im Rahmen einer Spezialuntersuchung über die Stratigraphie der Sedimente am Sperrengrund hat R. Rohde 1967/68 etwa 25 Sedimentbohrkerne entnommen. Außerdem hat Herr Rohde noch 50 Bodenproben aus dem gesamten Einzugsgebiet untersucht.

a) Zuflußanalysen

Wenn das Wahnbachwasser in die Hauptsperre eintritt, weist es im vierjährigen Mittel eine Mangan-Konzentration von 0,20 mg/l auf. Die Minimalwerte der einzelnen Wasserwirtschaftsjahre liegen (jeweils mg pro l) zwischen 0,02 (1961/62) und 0,04 (1962/63 Juli, 1959/60 Mai), die Maxima zwischen 0,25 (1960/61 Oktober) und 1,54 (Oktober 1959).

Die Maxima treten mit einer Ausnahme im September/Oktober auf, die Minima zweimal im Mai, einmal im Juni, einmal im Juli, einmal im Februar und einmal im November. Ein ausgeprägter Jahresgang kann daher kaum abgeleitet werden, zumal da im Wasserwirtschaftsjahr 1959/60 dem Tiefstwert (0,04 mg/l) im Mai der Höchstwert (0,47 mg/l) im Juni fast unmittelbar folgt.

Ein langfristiger Vergleich des Mangangehaltes mit den Jahresgängen der Niederschläge im Einzugsgebiet und dem Abfluß ergab keinerlei Parallelen etwa in der Weise, daß bei geringeren Niederschlägen durch eine fast vollständige und langsame Versickerung das abfließende Wasser stärker mit gelöstem Mangan angereichert würde. Allerdings werden die Niederschlagsmengen als Summenstatistiken geführt, während die Analysen des Zuflußwassers einen Momentausschnitt darstellen.
Der relativ sehr hohe Mittelwert von 0,2 mg/l verdient große Beachtung.

b) Tiefenschnitte (siehe Abb. 14)

Die Kurve der Mangan-Konzentration zeigt von der Oberfläche abwärts einen recht gleichmäßigen Verlauf, d.h. die Werte von 0,01 - 0,03 mg/l an der Oberfläche steigen gar nicht oder nach unten nur geringfügig an. Auch die Sprungschicht bewirkt keine Veränderung. Erst ab etwa 10 m über Sperrengrund beginnt ein deutlicher Anstieg auf 0,08 - 0,10 mg/l. Ein Meter über Grund werden meist Werte von 1 bis 5 mg/l ermittelt und am Sperrenboden treten Spitzenwerte bis 14 mg/l auf. Diese Beobachtung führt zu der Annahme, daß das Mangan möglicherweise aus dem

Boden, d.h. entweder aus dem überstauten Mutterboden oder aus dem inzwischen sedimentierten Schlamm gelöst wird.

Bei den vorliegenden Tiefenschnitten des Jahres 1963 wurden einige Wasserproben filtriert und unfiltriert analysiert. Während sich im filtrierten Wasser 2-wertiges Mangan gelöst findet, liegt im unfiltrierten auch das ungelöste 4-wertige Mangan vor. Der Verlauf beider Konzentrationskurven ist nicht parallel, so daß man nicht auf ein gesetzmäßiges Verhältnis von 4-wertigem zu 2-wertigem Mangan schließen kann. Erwartungsgemäß liegt der Mangangehalt in unfiltrierten Proben höher als in filtrierten, in der Regel steigt die Konzentration in der Grundzone relativ stärker als die im filtriertem Wasser und erreicht höhere Spitzenwerte (bis über 100 % höher).

Datum	unfiltriert	filtriert	Ort
13.8.	2,64 mg/l	2,39 mg/l	bei Boje A 50 cm üb.Grund
15.8.	0,20 "	0,08 "	"
19.8.	0,77 "	0,66 "	"

Dies dürfte auf eine Ansammlung von Trübstoffen oder Hochwirbeln der Sedimente (etwa durch leichte stehende Wellen) zurückzuführen sein.

Ab 115 bis 112 m NN abwärts zeigt sich, daß auf gleicher Tiefenstufe die Konzentrationswerte bei Boje F > E > D > C > B > A, wenn auch A (besonders im oberen Bereich) gelegentlich größer ist als B.

Alle Tiefenschnitte zeigen in dem Bereich 115 bis 100 m über NN einen deutlichen Anstieg der Manganwerte, weiter abwärts gehen sie wieder zurück. Dieser Anstieg ist ebenfalls an Boje A am geringsten und nimmt über B, C, D und E nach F stark zu. Boje F hat bei 108 m NN Grundberührung, so daß der fast 10 m breite Streifen erhöhter Mangan-Konzentration bei Boje F mit den Spitzenwerten am Sperrengrund zusammenfällt.

Da diese Spitzenwerte bei Boje F vielfach auch höher sind als die bei den anderen Bojen am Grund gemessenen, ist vermutet worden, daß ein Zusammenhang mit der "Lutters-Mühle" besteht: Wo der Wahnbach von der Isohypse 108 gequert wird, ist ein landwirtschaftlicher Betrieb überstaut worden, der einzige Wohnplatz, der im Sperrenbereich aufgegeben werden mußte. Während die ganze Talsohle im Unter- und Mittellauf des Wahnbaches nur mit z.T. feuchten Wiesen bedeckt war, ist im Bereich der "Lutters-Mühle" intensivere Landwirtschaft (siehe Karte 1) betrieben worden.[1)]

Daher könnte hier ein erhöhter Mangangehalt im Boden vorliegen und dieses Mangan ausgelaugt oder gelöst und dann horizontal bis in die Nähe des Stauwerkes, ca. 4 km sperrenabwärts verfrachtet werden. Die relativ genaue Abgrenzung der manganreichen Zone zwischen 105 und 112 m NN gegen die darüber und darunter liegenden Wassermassen mit geringerer Konzentration kann mit der Schichtung und sich daraus ergebender Stabilität hinreichend begründet werden.

Nach der Auswertung der anderen Meßergebnisse wird darauf noch einmal eingegangen.

Um die mittlere Mangankonzentration über die ganze Tiefe zu berechnen, müssen die Werte der einzelnen Tiefenstufen erst in das Verhältnis des Teilvolumens, in dem sie auftreten, zu dem Gesamtvolumen des Wassers gesetzt werden.

Wenn der Inhalt der Sperre bei dem jeweiligen Wasserstand gleich 1 gesetzt wird, stellen die Volumina der

---

[1)] Es ist denkbar, daß die Ackerfläche mit Mangan gedüngt worden ist, wie es bei sauren Böden häufig geschieht. Der hier vorliegende Boden ist nach Ganssen/Hädrich (1965) den sauren nährstoffarmen Braunerden zuzurechnen, die in Mittel- und Westeuropa aus nährstoffarmen Gesteinen (Ton-Schiefer, Grauwacke, Sandstein u.a.) entstehen.

einzelnen Meterschichten Bruchteile von 1 dar [1]. Wenn die Tiefenschnitte in mehr als 1 (bzw. 2) m senkrechtem Abstand genommen wurden, gehen wir davon aus, daß der analysierte Mangan-Konzentrationswert nach unten bis zum nächsten festgestellten gleich bleibt. Der Manganwert wird mit dem für die Tiefenstufe geltenden Bruchteil multipliziert. Die so erhaltenen Werte können untereinander nicht verglichen werden, ihre Summe ergibt den Mittelwert des Tiefenschnittes. Liegen mehrere Tiefenschnitte, an verschiedenen Bojen entnommen, vor, müßte man zuerst das arithmetische Mittel der Manganwerte der jeweiligen Tiefenstufe ziehen. Die Methode ist ungenau, da auch jeder Tiefenschnitt nur einen bestimmten Bruchteil des Sperreninhalts darstellt. Es ist jedoch keine Abgrenzung dieser Repräsentationsbereiche möglich.

In dem dargestellten Beispiel wurden aus dem Quer- und Tiefenschnitt vom 31.7.61 bei Boje A und dem Tiefenschnitt bei Boje B jeweils die Höchstwerte zugrunde gelegt. Es ergibt sich ein mittlerer Mangangehalt für die ganze Sperre von 0,03 mg/l (das ist das nach der oben beschriebenen Methode aus den jeweiligen Höchstwerten einer Tiefenstufe errechnete Mittel).

Zur gleichen Zeit hatte das zufließende Wahnbachwasser einen 3 bis 6 mal höheren Mangangehalt:

20. 6.61	0,10	mg/l
18. 7.61	0,18	"
5. 9.61	0,11	"

Im vierjährigen Mittel betrug der Gehalt des Wahnbachwassers an 4-wertigem Mangan 0,20 mg/l.

---

[1] Teil- und Gesamtvolumen sind durch Planemetrieren der Fläche gewonnen worden, die von einer Isohypse eingeschlossen werden. Da in dem zugrunde liegenden Plan nur 2 m Äquidistanzen eingezeichnet sind, erhält man das Volumen immer für 2 - m - Schichten, die bei der seinerzeitigen Berechnung im Wahnbachtalsperrenverband einfach durch halbieren in 1 - m - Schichten umgewandelt worden sind.

c) Quer- und Tiefenschnitte (siehe Abb. 15)

Die von Mai bis November 1961 durchgeführten Querprofile bei Bojé A umfassen jeweils 5 senkrechte Messungsreihen (I - V), die jeweils den Grundbereich bis max. 8 m über Grund erfassen. An jedem Meßtag wurde noch ein Tiefenschnitt genommen, um einen Vergleich mit den höheren Schichtungsbereichen zu erreichen. Die 5 Querschnitte sind so gelegt, daß sie fast nur den Talboden, kaum mehr die Hänge erfassen, sie haben alle zwischen 89 m (I,V) und 80 m NN (II, III, IV, Tiefenschnitt) Grundberührung.

Die Spitzenwerte werden jeweils an den tiefsten Meßpunkten erreicht und zwar bei jenen Schnitten, die am tiefsten hinab reichen:

Von 12 Meßtagen 6 mal bei II
3 mal bei IV
2 mal bei Tiefenschnitt A
1 mal bei III

Wenn man nicht die absoluten Maximalwerte sondern auch die nächst folgenden Werte, die meist nur wenig niedriger liegen, berücksichtigt, so treten sie alle an den absolut tiefsten Stellen auf:
an den Fußpunkten der Messungen II, III (selten IV) und des Tiefenschnittes. Sie scheinen der Schwerkraft zu folgen.

Vom Grund aufwärts läßt die Konzentration bei einem Querschnitt an den 5 bis 6 Meßstellen nicht gleichmäßig nach, etwa in der Weise, daß bei jeweils 5 m über Grund annähernd die gleichen Werte erreicht würden, so daß man sagen könnte, die Konzentration nehme mit wachsender Entfernung vom Grund gleichmäßig ab. Es bildet sich auch keine waagerechte oder gerade Linie gleichen Mangangehaltes heraus, so daß man auch von keinem "Manganspiegel" sprechen kann. Vielmehr ist die Linie gleicher Mangankonzentration von den äußeren Meßstellen zur Mitte hin leicht nach oben gewölbt (siehe Abb. 16). Das läßt sich jedoch nur bei den Meßpunkten II, III, IV und dem Tiefenschnitt beobachten, da die Stellen

I und V erst Grundberührung (und die damit verbundenen Höchstwerte) haben, wenn II bis IV schon nicht mehr erfaßt sind:

Messung I und V zwischen 87,5 und 90 m NN
Messung II, III, IV " 80,0 und 88 m NN

d) Schwebstoffsedimentation

In mehreren, immer gleichen Höhen über Grund sind bei den Bojen B, C, E und F Töpfe befestigt, die die absinkenden Schwebstoffe auffangen (siehe Abb. 17). Der Gehalt an 4-wertigem Mangan in den Analysen in Prozent vom Trockenrückstand (TR) der Schlammprobe angegeben. Der durchschnittliche Prozentanteil MnO_2 am Trockenrückstand beträgt über alle Bojen, Tiefen und die drei Wasserwirtschaftsjahre ermittelt 1,71 %.

Der Höchstwert eines Wasserwirtschaftsjahres liegt 1966/67 bei Boje B in 6 bis 7 m über Grund mit 2,55 % um die Hälfte höher als das Gesamtmittel. Im dreiwasserwirtschaftsjährigen Durchschnitt wurde bei Boje B, 2 m über Grund 2,29 % (ca. 1/3 höher als das Gesamtmittel) erreicht.

Eine deutliche Zunahme des Mangananteils läßt sich von Boje F nach Boje B beobachten, auch liegen die Werte der entnommenen Proben unten (2 m über Grund) alle über denen der oberen (22 m bei Boje B, 18 m bei C, 6 bis 7 m bei E und 4,5 m bei F), doch die Zwischenwerte zeigen nicht immer eine Abnahme mit wachsender Grundentfernung.

Sie liegen gelegentlich sogar über den Werten der untersten oder unter denen der obersten Proben.

Pro Jahr werden vier Proben entnommen und analysiert: im Januar/Februar, April/Mai, Juli/August und Oktober. Die Konzentration im Winterhalbjahr ist etwa so groß wie im Sommer, aber in den beiden Proben eines jeden Halbjahres verhalten sich die Manganprozente wie 1:2 bis 1:5. Im Winterhalbjahr ist 2 mal die erste Probe manganreicher als die zweite, einmal umgekehrt. Im Sommerhalbjahr ist

die zweite Probe generell manganreicher als die erste.

Die erhöhte Mangankonzentration läßt sich kaum mit dem Niederschlags- oder Wahnbachwasserdargebot begründen, da kein Zusammenhang erkennbar ist mit dem Jahresgang des Niederschlags, und sich ein solcher für den Mangangehalt des Zuflußwassers auch nicht aufstellen läßt.

e) Sedimentproben vom Sperrengrund und Bodenproben aus dem Wahnbacheinzugsgebiet

aa) Seesedimente

Die 1967/68 von Herrn R. Rohde untersuchten Sedimentproben sind von Tauchern mittels kleiner Zylinder aus dem Bodenschlamm ausgestochen worden (siehe Abb. 18).

Von den 27 vorliegenden Proben wurden 7 im Talverlauf des Wahnbaches jeweils an den tiefsten Stellen, d.h. im überstauten Bachbett entnommen, 11 Proben stammen aus den überstauten Betten der Nebenbäche, 2 Proben wurden etwas randlich entnommen. Die Probe Nr. 22 wird hier nicht berücksichtigt, da sie als einzige etwa zehnfach über dem Mittel liegt; diese starke Abweichung erscheint durch nichts gerechtfertigt, sie ist vermutlich auf einen Schreibfehler zurückzuführen. Der mittlere MnO_2-Gehalt aller Proben (außer Nr. 22) beträgt 0,17 % vom Glührückstand (GR), die Streuung um den Mittelwert ist nicht sehr breit:

10	Proben	enthalten	0,1 %	MnO_2	vom GR
15	"	"	0,2 %	"	" "
1	Probe	enthält	0,3 %	"	" "
1	"	"	0,4 %	"	" "
(Probe 22		"	1,8 %	"	" ")

Die Höchstwerte (ohne Probe 22) treten bei Nr. 11 und Nr. 1, also an den absolut tiefsten Stellen der Sperre auf: Probe 1 wurde bei Boje A, Probe 11 bei Boje B entnommen. Von den 10 Proben mit 0,1 % MnO_2 wurden eine (Probe 37) aus dem alten Wahnbachbett im oberen Sperren-

bereich (ca. 300 m oberhalb Boje F) entnommen, eine weitere (48 a) aus der Vorsperre und eine 3. (Probe 18) nahe dem Seeufer. Die übrigen 7 Proben mit 0,1 % MnO_2 stammen aus den Nebenbächen. Wurden in einem Nebenbach 2 oder 3 Proben entnommen (Derenbach, Bleibach, Fullenbach), so zeigen die oberen Proben 0,1 %, die unteren 0,2 % MnO_2.

Von den 15 Proben mit 0,2 % MnO_2 wurden5aus den überstauten Nebenbachbetten entnommen, davon 3 als zweite oder dritte Probe vom Derenbach, Bleibach und Fullenbach jeweils aus dem unteren Bereich (Probe 4, 19, 16).
Die übrigen 10 Proben stammen aus dem alten Wahnbachbett.
Die Sedimente des Talweges (längs dem Wahnbach) weisen also - bis auf die Proben 48a (oberste im Vorbecken) und 37 mit 0,1 % - im ganzen Verlauf der Sperre 0,2 % MnO_2 auf und erreichen erst kurz vor dem Sperrbauwerk in den beiden Proben 11 und 1 die Höchstwerte von 0,4 bzw. 0,3 %.

Die Fließgeschwindigkeit der Bäche wird mit Eintritt in die Sperre abrupt gebremst. Trotzdem bleibt eine beträchtliche Horizontalbewegung erhalten, die sich bis in die Nähe des Sperrbauwerks fortsetzt, hier aber gestaut wird und in Wirbeln endet. Bis zum Erreichen der Tiefenschicht, die dem zufließenden Wahnbachwasser in Temperatur und Dichte entspricht, unterströmt der Zufluß das Sperrenwasser in seinem alten Bachbett. Ist die adäquate Tiefe erreicht, löst sich das Zuflußwasser aus dem Bachbett und strömt annähernd horizontal weiter.

Die MnO_2-Gehalte der Seesedimente deuten darauf hin, daß bei jeder starken Abbremsung der Fließgeschwindigkeit das Zuflußwasser mehr Manganfracht abwirft:
Probe 48a - 48 (Wahnbach), 6-5-4 (Derenbach), 20-19 (Bleibach), 17-16 (Fullenbach). Jede Abbremsung bedeutet eine Verlängerung der Verweildauer, die mit dem Bewegungsstau im Bereich des Sperrdamms ihren Höhepunkt erreicht. Demgemäß tritt hier die größte MnO_2-Sedimentation auf.

Diese Beobachtungen werden sehr deutlich durch eine Sortierung der Sedimente gestützt: Die Proben aus dem Vorbecken und aus den Zuflüssen zeigen sehr hohe Prozentanteile SiO_2. Zwar nehmen sie sperrenabwärts nicht kontinuierlich ab, denn sie werden durch die relativ hohe Sedimentfracht der steil zufließenden Nebenbäche beeinflußt, aber im unteren Sperrenbereich (Probe 1 und 11) treten die geringsten SiO_2 - Prozente auf: SiO_2 wird also wegen seiner größeren Schwere schon kurz nach dem Eintritt des Baches in die Sperre sedimentiert.

bb) Bodensedimente (siehe Abb. 19)

Für die 50 Proben der Bodensedimente aus dem gesamten Einzugsgebiet des Wahnbaches ergibt sich ein mittlerer Gehalt von 0,19 % MnO_2 vom Glührückstand. Gruppiert man die Proben nach ihrer Herkunft, so entfallen

6 auf unmittelbares Quellengebiet (Quellmulden, Quellenwasseraustritte),
13 auf Bachbetten und deren unmittelbare Umgebung,
14 auf Täler und Talhänge,
18 auf wenig geneigtes Gelände der Rumpffläche.

In dieser Reihenfolge steigt der Prozentanteil MnO_2 von 0,16 über 0,18, 0,18 bis 0,22 %. Je stärker das Gelände oberflächlichem Abfluß ausgesetzt ist, desto geringer ist der Gehalt an MnO_2.

H. Breddin berichtet in seinem Beitrag im Jahrbuch der Preußischen Geologischen Landesanstalt für das Jahr 1925, nachdem er den Löß und den Decksand am Westrand des nördlichen rechtsrheinischen Schiefergebirges zur Kölner Bucht hin als "zwei äolosche Facies, die zu gleicher Zeit entstanden sind und sich gegenseitig vertreten" (S. 645) charakterisiert hat, von "zahlreichen 2 - 3 mm großen Mangan-Brauneisensteinknötchen" (S. 658).[1)]

[1)] Breddin, H., 1926

In den geologischen Gutachten zum Bau der Wahnbachtalsperre werden derartige Mangankonkretionen nicht erwähnt, da im wesentlichen das liegende Devon auf Tragfähigkeit und Durchlässigkeit untersucht worden ist. Geht man von der Einheitlichkeit der Lößdecke aus, dann ist der Manganeisenstein für den erhöhten Mangangehalt des Zuflußwassers der Wahnbachtalsperre verantwortlich, da fast das gesamte Einzugsgebiet mit Löß bedeckt ist.

In den höchsten Lagen des Wahnbachgebietes, wo die Lößbedeckung fehlt, tritt die präoligozäne Rumpffläche mit einer mächtigen Verwitterungsdecke zutage. Hier hat M. Richter[1)] ebenfalls Manganbrauneisen nachgewiesen, das aus den oberen Horizonten ausgebleicht und in den unteren wieder angereichert wurde. In den dem Wahnbach unmittelbar benachbarten Einzugsgebieten von Wiehl/Agger und Bröl sind die Konkretionen lange Zeit abbauwürdig gewesen. Im jetzt überstauten Wahnbachtal selbst weist die ehemalige Hoffnungstaler Hütte auf eine damalige Weiterverarbeitung des Erzes hin. Das Mangan entstammt - sowohl im Löß als auch in der Verwitterungsdecke der Grauwacke - manganhaltigen Silikaten.

Auf der Lößhochfläche begegnen sich zwei Faktoren, die eine Anreicherung des Niederschlagswassers mit bestimmten Stoffen begünstigen: Die schwache Neigung der Oberfläche läßt die Niederschläge nicht abfließen sondern fördert die Versickerung. Das hohe Wasserhaltevermögen des Löß und Lößlehms gibt dem Sickerwasser genügend Zeit, reichlich Stoffe aus dem Boden zu lösen. Ferner sind die wenig geneigten Hochflächen intensiv landwirtschaftlich genutzt, so daß auch hier eine Spurenelementdüngung der Äcker mit Mangan eine wesentliche Rolle spielen kann. Die Zusammensetzung im Bezug auf alle analysierten Stoffe ist bei den Bodensedimenten zwar nicht einheitlich, die Abweichungen

---

[1)] Richter, Max, 1917 - 22

erreichen aber kaum irgendwelche Extremwerte und lassen sich auch nicht nach bestimmten Kriterien ordnen, insbesondere nicht nach der Herkunft, wenn man davon absieht, daß die Bachsedimente erhöhte N- und P-Werte zeigen.

In den Seesedimenten haben die Stoffe, die an den biologischen und chemischen Umsetzungsprozessen des Seewassers hauptsächlich teilnehmen, einen höheren Anteil als in den Bodensedimenten.

3. Zusammenfassung der Mangananalysen

a) Der Wahnbach, der 90 % des zufließenden Wassers liefert, enthält im vierjährigen Mittel 0,20 mg Mangan im Liter. Die höchsten Konzentrationen treten überwiegend am Ende der Wasserwirtschaftsjahre auf (September, Oktober), nur einmal schon Ende Juni und zwar nur 6 Wochen nach dem niedrigsten Wert. Die Tiefstwerte sind von November bis Juli weit gestreut.

b) Abweichend von der "typischen Mangankurve", die mit wachsender Tiefe zunächst keinen oder einen nur geringen Anstieg der Mangankonzentration bis zum Grundbereich zeigt, weisen die Kurven der Tiefenschnitte 1963 bei Boje A bis Boje F eine Ausbuchtung zwischen 112 und 105 m NN auf. Dieser vorübergehende Anstieg ist bei den Kurven A und B am geringsten, bei C, D und E am stärksten ausgebildet und trifft bei Boje F mit dem Grundmaximum zusammen. Dieses ist bei F auch gelegentlich größer als bei den unteren Bojen. Beide Beobachtungen werfen die "Lutters-Mühle-Frage" auf. Eine angenäherte Berechnung (sie legt für jede Tiefenstufe die gemessenen Maximalwerte zugrunde!) der mittleren Mangankonzentration über die ganze Tiefe ergibt 0,03 mg/l am 31. 7.61, Analysen des Zuflußwassers (Wahnbach) ergaben im gleichen Zeitraum 0,10 bis 0,18 mg/l.

c) Aus den sog. Querprofilen bei Boje A, die nur den Talboden erfassen, ergeben sich Linien gleicher Mangankonzentration. Sie zeigen keine direkte Abhängigkeit von der

Grundentfernung, sondern sind bogenförmig ausgebildet mit dem Scheitel über der tiefsten Stelle des Talprofils, dem überstauten Wahnbach.

d) Der Mangangehalt der Schwebstoffproben ist bei Boje B höher als bei den weiter sperrenaufwärts liegenden. In Grundnähe entnommene Proben enthalten mehr MnO_2 als bei der jeweils gleichen Boje in geringerer Tiefe entnommene. Gelegentlich treten die Maximalwerte bei 6 bis 7 m über Grund auf. Der Durchschnitt für 3 Wasserwirtschaftsjahre, über alle Tiefen und bei allen Bojen ermittelt, beträgt 1,71 % vom Trockenrückstand. Von den jeweils vier Messungen (2 im Winter- und 2 im Sommerhalbjahr) ist die Summe der Wintermessungen ähnlich der Summe der Sommermessungen. Der MnO_2 - Gehalt in den einzelnen Proben ist aber sehr unterschiedlich: Innerhalb eines Halbjahres verhalten sie sich wie 1 : 2 bis 1 : 5 oder umgekehrt ohne erkennbare Regel. Fünf von sechs Minima treten im April, Mai und Juni, die Maxima viermal im Oktober, Januar und Februar auf.

e) Die analysierten Grundsedimente aus dem Stausee und die Bodensedimente des Einzugsgebietes haben generell eine einander sehr ähnliche Zusammensetzung. Stoffe, die am biologischen und chemischen Stoffumsatz besonders teilnehmen, sind im Seesediment z.T. stärker vertreten als im Bodensediment: gebundene und freie Stickstoffe, Phosphor usw., entsprechend ist auch der Glühverlust höher.

4. Die Riverisanalysen

Aus der Riveristalsperre liegen Wasseranalysen aus den Jahren 1959 bis 1963 vor.

Mit im Laufe der Zeit zunehmender Häufigkeit wurden aus der Riveristalsperre Tiefenschnitte genommen, und zwar kurz vor dem Damm etwa an der Stelle der überstauten Mündung des Thielenbachs in die Riveris.

Die Tiefenschnitte zeigen sehr gut die Temperaturschichtung und deren Auf- und Abbau im Laufe des Jahres: (siehe Abb. 20) Am 6.11. ist die Schichtung 1961, von der eine Woche vorher noch ein Rest zu sehen war, völlig aufgehoben. Zwischen November und Februar 1961/62 wurden keine Messungen vorgenommen, über eine eventuelle Winterschichtung kann nichts ausgesagt werden.

Die Sommerschichtung beginnt sich im Mai aufzubauen, und stabilisiert sich im Laufe des Sommers. Ende September wird die Sprungschicht langsam hinabgedrückt, bis im November der See von oben bis unten gleichmäßig temperiert ist, an der Oberfläche liegt die Temperatur sogar schon etwas niedriger als im übrigen Wasserkörper: Es scheint sich eine Winterschichtung aufzubauen.
Die Mangankonzentration ist vor und bei Beginn der Schichtung über die ganze Tiefe gleichmäßig niedrig. Mit zunehmender Stabilität der Temperaturschichtung nimmt der Mangangehalt im Hypolimnion zum Grund hin ständig zu und erreicht sein Maximum unmittelbar vor Beginn der Vollzirkulation (vgl. Abb. 20; 29.10./5.11.1962). Die Herbstzirkulation verteilt das gelöste Mangan auf das gesamte Wasservolumen.

Die Manganspitze des vorangegangenen Jahres (5,8 mg/l am 6.11.1961) wurde 1,2 m über Grund gemessen, sie kann u.U. 1 m tiefer noch wesentlich höher liegen. Ca. 6 m über Grund wurden 2 mg/l Mangan gefunden. Gesetzt die 5,8 mg/l werden in den untersten 1,5 m gleichmäßig wirksam (= 3.700 m^3 = 214,6 kg MnO), die 2 mg/l in den darüberliegenden 5 m (= 43.300 m^3 =86,6 kg MnO). Bei der Zirkulation wird diese Menge auf das Gesamtvolumen verteilt und müßte den Mn-Gehalt des oberen Wassers um 0,09 auf über 0,30 mg/l erhöhen. Diese Erhöhung tritt jedoch nicht ein, vielmehr beträgt der mittlere Gehalt an gelöstem Mangan eine Woche später nur gut 0,25 mg/l.

Der Sauerstoff, der durch die Vollzirkulation nach unten gebracht wurde, hat einen Teil des MnO zu unlöslichem MnO_2 oxydiert, das sedimentiert wurde. Im weiteren Verlauf der Zirkulation geht der MnO-Gehalt weiter zurück.

Ein Vergleich mit den Tiefenschnitten der Wahnbachtalsperre zeigt zwei wesentliche Unterschiede:
Bei Boje A erreicht das Wahnbachstauwasser am Grund Mn-Spitzen von bis zu 14 mg/l gegenüber 6 mg/l im Riveriswasser (vgl. Abb. 14, 20: unterschiedlicher Maßstab!). Umgekehrt liegt im Wahnbachbecken die Mangankonzentration im Epilimnion (abgesehen von den vorübergehenden Spitzen) meist weit unter 0,1 mg/l (an der Oberfläche bei 0,01 - 0,05, selten bis 0,09), an der Riveristalsperre dagegen sind Werte unter 0,1 mg/l an der Oberfläche sehr selten, Konzentrationen von 0,13 - 0,15 mg/l selbst bei ausgeprägter Schichtung sehr häufig.

Das ist um so bemerkenswerter, als das zufließende Riveriswasser (am Auslauf der Vorsperre) beim Eintritt in das Hauptbecken meist unter 0,1 mg/l Mangan enthält gegenüber durchschnittlich 0,2 mg/l (mit Maxima bis zu 1,5 mg/l) Mn im Wahnbachwasser. Ab 1965 werden bei den Zuflüssen der Riveristalsperre (Riverisbach und Thielenbach) Proben am Vorsperreneinlauf und -auslauf, also beim Übertritt aus dem Vorbecken in die Hauptsperre entnommen. Während der kurzen Verweildauer im Vorbecken erhöht sich der Mangangehalt des Wassers sehr stark: von unter 0,02 auf 0,08 - 0,10 mg/l mit allen Zwischenstufen. Ein Anstieg der Konzentration um 20 bis 50 % ist sehr häufig. Gelegentlich liegt der Mangangehalt am Vorsperreneinlauf auch über dem am Auslauf, jedoch kaum über 20 %.

Während der Verweildauer verändern sich die Konzentrationen der anderen Inhaltsstoffe (O_2, CO_2, Fe) und der pH-Wert nur sehr geringfügig oder gar nicht.

Der Vergleich des Mangangehalts im Zuflußwasser der beiden

Talsperren - jeweils am Einlauf in die Vorsperre gemessen - zeigt etwa die gleichen Werte mit der gleichen weiten und unregelmäßigen Streuung. Der hohe Mangangehalt des aus der Riveristalsperre zur Trinkwasseraufbereitung entnommenen Rohwassers hat schon nach 6 Monaten Betriebszeit zu starken Druckverlusten in der Rohrleitung zwischen dem Stausee und der Filteranlage geführt. Bei einer Untersuchung[1)] fand man an den Wänden der Röhren eine 3 - 5 cm starke Schicht festen Manganschlamms. Seiner Zusammensetzung nach (32 - 86 % MnO_2, 6 - 43 % SiO_2, 2,6 - 9,9 % Fe_2O_3; Glühverlust ≙ organische Bestandteile 13,6 - 24 %) wird er von den Berichterstattern als "Reinkulturen von Mangan-oxydierenden Bakterien" bezeichnet.

Anläßlich der weiteren Untersuchungen teilen die Verfasser mit: "Bei einem Versuchsschurf wurde mit Mangan und Eisen durchsetztes Gestein gefunden. Erst bei einer späteren Ortsbesichtigung (1961) konnte auf reichlich vorhandenen Manganmulm hingewiesen werden."

[1)] Schweisfurth, R. und Mertes, R., 1963

V. Morphometrische Maßzahlen (siehe Tab. 1, 2, 3a, 3b)

Unter dem Begriff der morphometrischen Maßzahlen sollen hier Parameter verstanden werden, die die morphologischen Formen von See- und Talsperrenbecken und z.T. auch deren Einzugsgebieten zahlenmäßig erfassen. Sie sollen die Wasserkörper oder die Beziehungen zwischen dem Stauwasser und der Morphologie des Niederschlagsgebietes charakterisieren und so den Vergleich verschiedener Seen, hier Stauseen, über die einfachen Größen wie Oberflächen, Tiefen, Volumina usw. hinaus ermöglichen, ähnlich wie die Morphometrie die absoluten Zahlen, z.B. Höhen von Bergen, relativiert und dadurch zu neuen, weiter verwendbaren Werten gelangt.

Nur wenige Maßzahlen wurden speziell für Stauseen entwickelt (wie der Ausbaugrad), während die Mehrzahl für natürliche Seen aufgestellt und dann für Talsperren einfach übernommen wurde. Auf die Problematik dieser Übernahme, die den vielfältigen Unterschieden, welche sich aus der Entstehung und der Bewirtschaftung von Talsperren ergeben, soll im Folgenden jeweils eingegangen werden.

1. Ausbaugrad

Zunächst eine Maßzahl, die speziell für Talsperren errechnet wird und höchstens mittelbar mit der Morphologie in Zusammenhang steht. Der Ausbaugrad bezeichnet das Verhältnis zwischen dem jährlichen Abfluß eines aufgestauten oder aufzustauenden Einzugsgebietes und dem Inhalt des Staubeckens.

Man spricht von einem Ausbaugrad von 100 %, wenn die Talsperre den gesamten mittleren jährlichen Abfluß aufnehmen kann. Die Wahnbachtalsperre hat einen Ausbaugrad von 105 %, d.h. ihr Fassungsvermögen ist etwas größer als die mittlere jährliche Abflußmenge. Die Riveristalsperre mit ihrem Ausbaugrad von nur 44 % faßt dagegen weniger als die Hälfte des durchschnittlich vom Riveriseinzugsgebiet

(bis Staustelle) dargebotenen Wassers. Der Rest des Wassers durchfließt den Stausee und wird unterhalb des Sperrwerks dem Bachbett wieder zugeleitet.

Je geringer der Ausbaugrad, desto kleiner kann u.U. der Hochwasserschutz sein, den eine Sperre bietet, z.B. wenn sie gefüllt ist (evtl. einschl. Hochwasserschutzraum) und starke Regenfälle anhalten oder die Schneeschmelze einsetzt. Wenn der Hochwasserschutz eine wesentliche Funktion eines zu errichtenden Wasserspeichers sein soll, wird der Ausbaugrad erhöht, obwohl das für die eigentliche Bewirtschaftung (z.B. Trinkwassergewinnung) nicht notwendig wäre.

Umgekehrt wird zuweilen Wasser aus anderen Niederschlagsgebieten herangeführt, wenn ein Tal die Errichtung einer großen Sperre erlaubt, die nicht aus dem Abfluß des eigenen Einzugsgebietes gefüllt werden kann (Rurtalsperre Schwammenauel).

Ein Ausbaugrad von 100 % (ohne Beileitungen aus anderen Einzugsgebieten) oder mehr bedeutet theoretisch, daß der Fluß oder Bach unterhalb der Sperre trockenfällt, da der gesamte Abfluß zurückgehalten wird. Eine bestimmte Mindestwasserführung muß aber erhalten bleiben, schon um die Abwässer, die unterhalb der Talsperre in den Bach geleitet werden, genügend zu verdünnen. Praktisch liegt der Ausbaugrad also unter dem hohen theoretischen Wert, so daß die Sperre nur in überdurchschnittlich feuchten Jahren (mit zusätzlich günstiger Verteilung der Niederschläge) ganz gefüllt werden kann.

Ein geringer Ausbaugrad erlaubt die großzügigere Bewirtschaftung einer Sperre. So kann man aus der Riveristalsperre eher manganreiches und sauerstoffarmes Tiefenwasser über den Grundablaß abziehen, um die Gesamtwasser-Qualität zu verbessern. Bei der Wahnbachtalsperre müssen derartige Maßnahmen streng an den hydrographischen Möglichkeiten und Notwendigkeiten (Niederschlagsangebot und Wasserbedarf) gemessen werden.

Der erhöhte Anteil von unbewirtschaftetem Wasser, das bei geringem Ausbaugrad den Stausee durchfließt, kann das Sperrenwasser durch ständigen Austausch verbessern: Das zufließende Wasser ist sauerstoffreicher und da es kälter als das Epilimnion ist, erhöht es den Sauerstoffgehalt im Hypolimnion. Andererseits bringt es Sedimente (gelöste und ungelöste) mit, die zum Teil in der Sperre verbleiben und/oder am Stoffumsatz im See teilnehmen. Durch die geringe Verweildauer wird wahrscheinlich relativ weniger (gelöstes) Sediment zurückgelassen.

Im ganzen jedoch werden in eine Sperre mit geringem Ausbaugrad im Verhältnis zum Stauinhalt mehr Sedimente verfrachtet.

2. Einzugsgebiet zu Wasservolumen

Wie der Ausbaugradfaktor wird das Verhältnis Einzugsgebiet : Wasservolumen für Talsperren aufgestellt und ist ebenfalls nur in geringer Weise eine morphometrische Maßzahl.

Die Abflußmenge ist zwar auch von der Größe des Einzugsgebietes abhängig, doch spielen die klimatischen Bedingungen eine mindestens ebenso große Rolle: Niederschlag und Verdunstung; dazu kommen Verluste durch unterirdischen Abfluß in benachbarte Einzugsgebiete und durch Transpiration der Pflanzendecke. Diese Verlustgrößen können nicht genau bestimmt werden.

Eine weitere Einschränkung erfährt die Beziehung der Größe des Einzugsgebietes mit dem Volumen der Sperre bzw. dem Abfluß durch morphologische Faktoren, die den Abfluß bestimmen: starkes Gefälle fördert den Abfluß, geringe Reliefenergie begünstigt die Versickerung. Nach Abzug all dieser "Verfremdungseffekte", was sehr aufwendig und schwierig ist, erhält man einen recht unsicheren morphometrischen Faktor.

Die Größe des Abflußgebietes kann eine Bedeutung haben, wenn man ermitteln will, wie groß das Areal ist, aus dem die chemischen Inhaltsstoffe stammen, die mit dem Zuflußwasser in eine Talsperre verfrachtet werden. Hierfür hat aber die Bodenbewachsung und vor allem die Bodennutzung eine überragende Bedeutung. E. Schulze[1] schränkt folglich die Vergleichsmöglichkeit des Verhältnisses Einzugsgebiet zu Volumen als Indikator für die Nährstoffbelastung von Talsperren auf Niederschlagsgebiete gleicher Nutzung ein.

Kann man Einzugsgebiete mit den erwähnten Vorbehalten vergleichen, müssen bei dem zweiten Bestandteil des Quotienten, dem Sperreninhalt, weitere Einschränkungen berücksichtigt werden. Je nach Ausbaugrad der Sperre wird ja nur ein mehr oder weniger großer Teil des zufließenden Wassers gespeichert, während der Rest schon nach kurzer Verweildauer den See wieder verläßt, so daß Austausch und Sedimentation von Inhaltsstoffen unterschiedlich sind.

Aufgrund dieser vielfältigen Vorbehalte ist die praktische Anwendung dieser Maßzahl als Mittel des Vergleichs sehr stark eingeschränkt.

3. Umfangsentwicklung

Die Umfangsentwicklung bezeichnet das Verhältnis des Umfangs eines Sees (Länge der Uferlinie) zum Umfang des Kreises mit dem gleichen Flächeninhalt wie die Seeoberfläche. Je weiter sich die Oberfläche eines Sees von der Kreisform entfernt, desto größer wird der Wert.

Entsprechend haben die fast runden Maare eine Umfangsentwicklung von nahezu 1 (1,02 bis 1,06)[2]. Die Gliederung

---

[1] Schulze, Ebernard, 1962 S. 329

[2] Halbfaß, Wilhelm, 1922

eines Sees durch Seitenarme erhöht den Zahlenwert der Umfangsentwicklung erheblich: Bodensee = 3,46.

Die Wahnbachtalsperre hat eine Umfangsentwicklung von 4,2, die Riveristalsperre von 2,8.[1)]

Auch weniger verzweigte und in Nebentäler eingreifende Talsperren werden - bedingt durch die morphologisch immer gegebene langgestreckte Form - nicht wesentlich niedrigere Werte aufweisen.

Das Verhältnis der Umfangsentwicklung setzt sich von der Oberfläche bis in eine gewisse Tiefe fort als Länge einer Isobathe zum Umfang des Kreises mit dem Inhalt der von der Isobathe eingeschlossenen Fläche. In Bodennähe werden die Abweichungen sehr groß.

Mit dieser fortgesetzten Umfangsentwicklung (Uferentwicklung) läßt sich annähernd der Böschungsanteil der vom Stausee benetzten Fläche erfassen und von einem See zum anderen vergleichen. Der Böschungsanteil, besonders der abwechselnd überstaute und trockenfallende zwischen Stau- und Absenkziel, ist ein Index für die Belastung des Sperrenwassers mit Oxydationsmasse, die durch die Selbstbegrünung des im Sommer trockenfallenden Ufers anfällt, wenn der Wasserstand wieder steigt.

Ein See in Form eines auf der Spitze stehenden Hohlkegels hätte über die ganze Tiefe die Uferentwicklung = 1. Von dieser Figur wird denn auch der Faktor Volumenentwicklung abgeleitet. Die Volumenentwicklung ist das Verhältnis des Seevolumens zum Rauminhalt des Kegels mit

---

[1)] Die oben erwähnten Werte für die natürlichen Seen stammen aus den Halbfaßschen Tabellen und wurden auf der Grundlage von Karten 1: 10.000 bis 1 : 25.000 errechnet. Die Umfangsentwicklung der Talsperren aber aus Plänen 1 : 500 (Wahnbach und 1 : 1.000 (Riveris). Durch das Abgreifen wenig generalisierter Tiefenlinien erhöht sich scheinbar deren Länge und damit der Dividend.

der Grundfläche = Seeoberfläche und der Höhe = größte Seetiefe.

Morphometrische Maßzahlen erscheinen aber nur sinnvoll und haben nur dann einen praktischen Vergleichswert, wenn ihre Bezugsgröße oder -figur mindestens eine entfernte Ähnlichkeit mit der natürlichen Form aufweist. Mit Hohlkegeln kann man allenfalls Maare vergleichen aber keine langen, flachen, evtl. noch verzweigten Staubecken.

Im Zusammenhang mit dem Bodenfaktor (siehe weiter unten) wurde als Bezugsfigur für Talsperren eine liegende unregelmäßige Pyramide entwickelt, deren Grundfläche aus dem Querschnitt des Wasserkörpers in Sperrwerknähe und deren Höhe aus der Länge des Sees besteht. Derartige Figuren können in Hinsicht auf ihre Abweichungen voneinander und als Modell mit dem natürlichen Becken verglichen werden.

4. Mittlere Tiefe

Die sog. mittlere Tiefe wird berechnet als Seevolumen : Seeoberfläche, also als Höhe wie bei allen geometrischen Körpern mit parallelen und identischen Grundflächen (Zylinder, Quader, Prisma).

Unter Mittelwerten versteht man allgemein arithmetische Mittel, also Werte, um die die tatsächlichen Meßwerte möglichst gleichmäßig streuen.

Eine wirkliche mittlere Tiefe kann man nach einer von H. Wagner[1)] mitgeteilten Methode näherungsweise ermitteln. Auf möglichst großmaßstäbige Karten oder Pläne wird ein Netz quadratischer Felder gelegt. Für alle Schnittpunkte der Netzlinien wird die Höhe bzw. Tiefe interpoliert. Diese Werte werden addiert und durch die Gesamtzahl der Netzschnittpunkte dividiert. Für den Quotienten V : O scheint nur die Bezeichnung "mittlere Tiefe" etwas un-

---

1) Wagner, H., 1920, Seite 255

glücklich gewählt, denn tatsächlich werden von dem Verhältnis Volumen : Oberfläche verschiedene Vorgänge im See beeinflußt. Die Größe der Oberfläche bestimmt - neben den klimatischen Faktoren - die Verdunstung: Bei kleinem Quotienten V : O, also relativ großer Oberfläche, ist der Verdunstungsverlust verhältnismäßig stärker als bei großem V : O - Wert.

Zum anderen hängen von der Oberfläche die physikalischen Faktoren ab, die die Seebiologie und -chemie bestimmen: Die auf die Seeoberfläche einwirkende Sonnenstrahlung durchlichtet das Wasser bis in eine bestimmte Tiefe und erwärmt das Epilimnion. Für den größten Teil der im See produzierten Biomasse stellt das Epilimnion die trophogene Zone dar, das Hypolimnion die tropholytische und das Metalimnion einen Übergangsbereich zwischen beiden. Vergleichsverhältnisse dieser drei Schichtungsbereiche werden weiter unten besprochen.

Für die Volumenberechnung des Epilimnions ist wegen der geringen Mächtigkeit von 5 - 10 m die Oberfläche die wirksamste Größe, so daß das Epilimnion von ihrem Flächeninhalt maßgeblich bestimmt wird, besonders bei Talsperren mit ihren steilen Böschungen, durch die auch die Unterfläche des Epilimnions relativ groß bleibt.

Über die Oberfläche steht das Seevolumen im Kontakt mit der Atmosphäre und nimmt in erster Linie Sauerstoff und Stickstoff auf (vgl. Seite 30). Im stabil geschichteten See können diese Stoffe nur im Epilimnion wirksam werden und kommen dem dort lebenden Plankton zugute, wodurch dessen Entwicklung mengenmäßig begünstigt wird.

Zu Zeiten der Vollzirkulation wird der von der Oberfläche aufgenommene Sauerstoff auf das gesamte Seewasser verteilt. In den Zirkulationsperioden stellt der Quotient V : O einen Indikator für das O_2 - Aufnahmevermögen des Sees dar, das mit zunehmender Oberfläche steigt.

5. Oberfläche zu Tiefe

Das Verhältnis Oberfläche : Tiefe mit der sog. mittleren Tiefe V : O aufzustellen, erscheint wenig sinnvoll: Es würde die Oberfläche in Relation setzen zu einer Größe, die ohnehin von ihr wesentlich bestimmt wird ($O : \frac{V}{O} = \frac{O^2}{V}$). Die aus diesem Quotienten sich evtl. ergebenden Aussagen, sind im wesentlichen schon aus der Beziehung V : O zu gewinnen.

Da die Sauerstoffzufuhr mit wachsender Tiefe zunehmend erschwert ist, erlauben die Beziehungen Oberfläche : arithmetischer mittlerer Tiefe und Oberfläche : größter Tiefe Schlüsse auf die O_2 - Austauschmöglichkeiten. Hierbei erscheint die Oberfläche einerseits als Sauerstoffaufnahmefläche und andererseits als bestimmender Faktor der Bioproduktion.

Eine große Tiefe bedingt nicht zwingend ein großes Volumen: Talsperren mit ihren steilen Böschungen verjüngen sich nach unten stärker als muldenförmige Seebecken. Dem durch die relativ große Tiefe erschwerten O_2 - Austausch steht dann ein geringes tropholytisches Volumen gegenüber, das mit einer - durch die relativ große Oberfläche verstärkt produzierten - großen Oxydationsmasse belastet wird.

6. Epilimnion zu Metalimnion zu Hypolimnion

Alle bisher erwähnten Maß- und Vergleichszahlen beziehen sich auf einen bis zum Stauziel gefüllten See. Talsperren lassen sich nur mit solchen natürlichen Seen vergleichen, die einen oberflächlichen Zu- und Abfluß haben. Bei beiden unterliegen die Zuflußverhältnisse gleichen Bedingungen.

Der oberflächliche Abfluß wird bei natürlichen Seen durch deren Wasserstand reguliert. Bei niedrigem Wasserstand verringert sich der Abfluß, so daß die Seespiegelschwankungen in engen Grenzen bleiben.

Das Stauziel (bei der Wahnbachtalsperre 124 m NN, bei der Riveristalsperre 319 m NN), auf das sich sämtliche Oberflächen-, Tiefen- und Volumenangaben beziehen, wird nur ausnahmsweise erreicht: In den Sperren müssen Hochwasserschutzräume freigehalten werden, um Schadhochwasser zu verhindern. Bei der Wahnbachtalsperre wurde der Hochwasserschutzraum auf 4 m (120 - 124 m NN) festgesetzt, so daß ein Volumen von über 9 hm^3 (20 - 25 % des gesamten Stauinhalts) der Bewirtschaftung entzogen wurde. Im Laufe der Betriebsjahre wurde aufgrund der Erfahrungen der Hochwasserschutzraum verkleinert, nicht zuletzt um - neben größerem Spielraum in der Bewirtschaftung - hin und wieder manganreiches Tiefenwasser abziehen zu können. Bei einem Pegelstand von 50 - 52 m (= 120 bis 122 m NN) gilt die Sperre als voll.

Während der regulären Bewirtschaftung in einem normal trockenem Sommer sinkt der Wasserspiegel um 10 bis 15 m auf 105 bis 110 m NN, so daß vor Einsetzen der Herbstniederschläge die maximale Tiefe ca. 30 m beträgt und der See noch ein Volumen von rund 20 hm^3 und eine Oberfläche von 1,2 Mio. qm hat.

Solche großen Spiegelschwankungen verändern die anderen Größen (Volumen, Oberfläche) in jeweils verschiedenen Verhältnissen, so daß alle o.a. aus diesen Größen errechneten Maßzahlen nicht mehr gelten.

Konnte die Sperre zwischen zwei trockenen Sommern nicht wieder aufgefüllt werden (Doppeltrockenjahr), kann sie bis 90 m NN abgesenkt werden. Der Restsee hätte dann noch ca. 2,5 hm^3 und 400.000 qm und eine maximale Tiefe von 11 m. Es wäre schon rein größenmäßig ein völlig anderer See. Der Fall ist in dieser starken Ausprägung bei der Wahnbachtalsperre noch nicht vorgekommen. Das Rohwasser wird, wie oben erwähnt (vgl. Seite 28), aus dem Hypolimnion, evtl. noch dem unteren Metalimnion abgezogen. Dabei werden das Epilimnion und das Metalimnion en bloc abgesenkt. Diese beiden Wasserkörper müßten dabei

ihre Form verändern: Um das jeweilige Volumen zu erhalten, muß mit kleiner werdenden Ober- und Unterflächen die Mächtigkeit zunehmen. Ob es sich so verhält oder ob an den Unterflächen eine Wasserabgabe zur darunter liegenden Schicht (Epi- an Metalimnion, Meta- an Hypolimnion) erfolgt und so die Abhängigkeit von der Strahlungsenergie und dem Wärmehaushalt voll erhalten bleibt, ist meines Wissens noch nicht untersucht. Es ist dies eine Frage, die sich nur bei Stauseen mit ihrem großen, vom Menschen veranlaßten Spiegelschwankungen stellt.

Wegen der in kurzen Zeiträumen wechselnden Wasserstände und der von Jahr zu Jahr verschiedenen Wetterbedingungen können die Schichtungsbereiche Epi-, Meta- und Hypolimnion nur für jeweils bestimmte Zeitpunkte zueinander in Relation gesetzt und von Sperre zu Sperre verglichen werden.

Die Bereiche Epi-, Meta- und Hypolimnion werden nach physikalischen Gesichtspunkten (Temperatur und Dichte) gegeneinander abgegrenzt. Durch den Bedarf des Planktons an Licht und Wärme fällt die physikalische Schichtung weitgehend mit der biologischen (und als deren Folge wiederum mit der chemischen) Schichtung zusammen (siehe Abb. 12). So kann man das Epilimnion etwa mit der trophogenen (biologisch produktiven) und das Hypolimnion mit der tropholytischen (der biologischen Abbau-) Zone gleichsetzen. Im Metalimnion verzahnen sich Produktion und Abbau.

Mengenmäßig wird die Bioproduktion im trophogenen Bereich durch das Nährstoffangebot, besonders durch den Minimumstoff gesteuert. Im eutrophen See kann das Nährstoffangebot immer als ausreichend betrachtet werden. Steht einem großen epilimnischen Volumen ein kleines Hypolimnion gegenüber, werden viel schneller anaerobe Verhältnisse eintreten, als wenn die Oxydationsmasse sich auf ein relativ großes tropholytisches Volumen verteilen könnte.

Dieser Umstand wird noch dadurch verstärkt, daß z.Z. der höchsten Bioproduktion (Sommer) das Hypolimnion durch Rohwasserentnahme und geringen Zufluß, sowie (im Spät-

sommer) durch langsames Hinabsinken der Sprungschicht verkleinert wird.

Dementsprechend treten die höchsten Mangankonzentrationen als Vorläufer der Anaerobie im Herbst, meist kurz vor Beginn der Zirkulation auf (vgl. Abb. 14, 20). Gemäß der jährlichen Entwicklung sollte bei Talsperren vom Beginn der Schichtung bis zum Einsetzen der Herbstzirkulation die Relation Epi- : Meta- : Hypolimnion berechnet werden. Denn ein Vergleich mit anderen Talsperren ist nur über die Jahresgänge, evtl. noch über deren langjährige Mittel möglich.

Die hohen hypolimnischen Manganmaxima im Herbst legen den Schluß nahe, daß eine Veränderung der Inhaltsstoffkonzentrationen wenigstens zum Teil auf Bewegungen im Verhältnis Epi- : Meta- : Hypolimnion zurückzuführen ist. Der Nachweis wird im einzelnen schwer zu erbringen sein, da durch die veränderten Temperatur- und Strahlungsbedingungen der "Sommerplankton" abstirbt und dadurch die Oxydationsmasse stark erhöht wird.

7. Bodenfaktor

Nach übereinstimmender Meinung der Autoren[1)] nimmt die Manganreduktion und -lösung vom Bodenschlamm ihren Ausgang. Das Verhältnis Schlammoberfläche : Wasservolumen wäre als Indikator dafür aufzustellen, in wieweit aus dem Bodenschlamm gelöste Stoffe (außer Mangan auch Eisen, Kalk u.a.) im Wasser wirksam werden.

In der geschichteten Sperre ist ein vertikaler Wasser- und Stoffaustausch stark erschwert: nicht nur zwischen den drei thermischen Bereichen Epi-, Meta- und Hypolimnion, sondern auch innerhalb des Metalimnions und des Hypolimnions.

Das Epilimnion mit seinem geringen Temperatur- und Dichteabfall von oben nach unten ist instabil und kann durch

---

[1)] Alsterberg, Einsele, Mortimer, Ohle

den angreifenden Wind bis in größere Tiefe wenn nicht vollständig durchmischt werden. Bei böigem Wind kann die Schichtgrenze zum Metalimnion noch angegriffen werden, die physikalische Stabilität der Sprungschicht leistet einer Durchmischung aber Widerstand. Das Hypolimnion ist zwar wieder instabil, durch die Sprungschicht aber so weit geschützt, daß bei starken Windböen nur sehr langperiodische stehende Wellen entstehen, die die Schichtgrenze zum Epilimnion zwar bewegen, die thermische Schichtung im Hypolimnion aber nicht zerstören. Mortimer[1)] hat das im Laborversuch nachgewiesen und die Ergebnisse an einem natürlichen See bestätigt gefunden.

Einem horizontalen Wasser- und damit Stoffaustausch stehen keine Widerstände entgegen. Von Horizontalströmen größeren Ausmaßes wird noch die Rede sein. Alsterberg[2)] ist der Meinung, daß schon durch die Eigenbewegung des Zooplanktons Stoffe sehr gleichmäßig auf eine gewisse horizontale Wasserschicht verteilt werden können.

a) Bodenfaktor nach Grim und nach Elster und Schmolinsky

Das berechtigt dazu, das Volumen einer begrenzten Wasserschicht mit der Bodenfläche in Relation zu setzen, mit der dieses Wasser in Kontakt steht, um einen Indikator zu erhalten für die Wechselwirkungen zwischen Schlamm und Wasser.

Wird das Verhältnis als Wasservolumen : benetzter Fläche ($\frac{V'}{F}$ nach Grim[3)]) aufgestellt, so ergibt sich, in wieviel m^3 Wasser die aus 1 m^2 Seebodenfläche gelösten Stoffe (z.B. Mangan (II)oxyd) eingehen bzw. verdünnt werden.

Umgekehrt als benetzte Fläche : Wasservolumen ($\frac{F'}{V}$ x 100 [4)] nach Elster und Schmolinsky[5)]) berechnet, gibt das Ver-

---

1) Mortimer, Clifford H., 1950
2) Alsterberg, G., 1927
3) Grim, Julius, 1959
4) Multipl. mit 100, um nicht zu kleine Werte zu erhalten.
5) Elster und Schmolinsky, 1954

hältnis an, aus wieviel m^2 Schlammoberfläche die in 1 m^3 vorgefundenen Stoffe stammen.

Die jeweiligen Autoren nennen ihren Parameter "Bodenfaktor"[1].

Zur Berechnung des Bodenfaktors wird die Fläche zwischen zwei Isobathen planimetrisch ermittelt. Elster und Schmolinsky, die dieses Verfahren für die Seen des südlichen Schwarzwaldes anwendeten, haben darauf hingewiesen, daß mit steigendem Böschungswinkel ein wachsender Fehlerwert auftritt. Das Verhältnis der auf die Karte projizierten Strecke $\overline{A'B'}$ zu ihrer tatsächlichen Länge $\overline{AB}$ entspricht dem cos des Neigungswinkels. Der Fehlerwert sei zu vernachlässigen, da er erst bei 25° 10 % beträgt. Für natürliche Seen spielt der Fehler auch kaum eine Rolle, da nach den Halbfaßschen Tabellen[2] 75 % aller Seen innerhalb der deutschen Grenzen von 1914 (!) mittlere Böschungen mit weniger als 5° Neigung haben, d.h. für sie beträgt der durchsdnittliche Fehler unter 0,4 %.

Anders bei Talsperren, bei denen der Fehler zum großen Teil über 10 % beträgt, da ihre Böschungen als trockene Talhänge entstanden sind und bis zum Einstau des Beckens Abtragungsgebiet waren. Das gilt um so mehr, als die Auswahl eines Tales zum Bau eines Wasserspeichers von der Forderung mit bestimmt wird, auf kleiner Fläche einen großen Stauraum zu gewinnen.

Die Ermittlung des mittleren Böschungswinkels und die Berücksichtigung des mittleren Fehlers könnte die Genauigkeit des nach der planimetrischen Methode errechneten

---

[1] Der Begriff "Bodenfaktor" bezeichnet in der Hydrologie etwas völlig anderes. R. Keller (1961, S. 45) teilt die Verdunstungsformel von Laatsch mit (V = Sättigungsdefizit x Windfaktor x Bodenfaktor), in der der Bodenfaktor die Verdunstungsfaktoren zusammenfaßt, die durch Bodenart, Bodenfeuchte, Bewuchs bestimmt werden. Zur Unterscheidung würden sich für den limnologischen Bodenfaktor Begriffe wie Kontaktfaktor (nämlich Kontakt Wasser/Schlamm) oder wenigstens S e e bodenfaktor anbieten.

[2] Halbfaß, Wilhelm, 1922

Bodenfaktors bei der Anwendung auf Talsperren erhöhen.

b) Kontaktfaktor

Für den direkten morphologischen Vergleich mehrerer Täler bietet sich noch eine andere Methode an, die zwar den Nachteil hat, nur eine Näherung zu sein, andererseits aber den Vorteil bietet, daß von den tatsächlichen morphologischen Verhältnissen ausgegangen wird.

Die für unsere Betrachtung bestimmenden Faktoren eines Tales sind: Neigung und Flächeninhalt der Talhänge, Fläche des Talbodens (absolut und relativ zu den benetzten Böschungen) sowie Länge und Gefälle des Tales als meßbare Größen.

Während die planimetrische Methode den Wasserkörper horizontal-laminar zerlegt und zu den absoluten Größen V und F kommt, ohne Schlüsse zuzulassen, woraus diese Werte resultieren, wird der Wasserkörper bei der "Profilmethode" in senkrechte Scheiben zerlegt. Das Profil zeigt die das Tal bestimmenden Faktoren (Neigung und Fläche der Hänge, Breite des Talbodens), die Anlage der Querschnitte kann die übrigen (Länge und Gefälle des Tales) berücksichtigen.

Da es praktisch nicht durchführbar ist, das Tal rechnerisch in anschließende Scheiben zu zerlegen, werden nur einzelne Querschnitte nach einem vorher festgelegten Schema eingemessen. Legt man die Profile jeweils dort, wo eine Isohypse den Bachlauf schneidet, ist die Abhängigkeit vom Gefälle gegeben.

Im zweidimensionalen Profil entsprechen Br und Bl den rechten und linken Hanglinien, O der Wasseroberfläche, Ts der Talsohle, der Inhalt (J) der geometrischen Figur dem Volumen des Wasserkörpers. $\frac{F'}{V} \times 100$ wird also ausgedrückt durch $\frac{Br + Bl + Ts}{J} \times 100$, zur Unterscheidung von dem planimetrisch ermittelten Bodenfaktor (Bf), wollen wir diese Beziehung Kontaktfaktor (Kf) nennen,

nämlich Kontakt Wasser - Schlamm (vgl. Anmerkung 1 Seite 64).

Die langgestreckte Form künstlicher, in Flußtälern aufgestauter Seen ist ein weiteres Argument für Querprofile als Ausgangsbasis für Boden- bzw. Kontaktfaktorenberechnung. Im Gegensatz zu natürlichen Seen liegt bei Talsperren ein gleichsinniges Gefälle bis unmittelbar zu einem Ende (Staustelle) vor. In der Richtung dieses Gefälles finden, wenn auch nicht mehr in zwingender Abhängigkeit davon, Strömungen statt: Zufluß am oberen, Abfluß am unteren Ende. Sie können mit Hilfe von Querschnitten sichtbar gemacht und ihre Abhängigkeit von der Morphologie untersucht werden. Für die Ermittlung des Kontaktfaktors der Wahnbachtalsperre und der Riveristalsperre wurden aus den Plänen im Maßstab 1 : 500 mit 2 m - Äquidistanzen bzw. 1 : 1.000 mit 5 m - Äquidistanzen auf jeder Profillinie die Entfernung vom Talweg (Mitte Bachlauf) zu den jeweiligen Isohypsen abgemessen und in eine Tabelle eingetragen. Daraus wurden Br + Bl + Ts und J für jede Stufe errechnet, die Werte innerhalb jeder Tiefenstufe addiert und schließlich zum Kontaktfaktor $Kf = 100 \times \frac{Br + Bl + Ts}{J} = \frac{F'}{V'} \times 100$ dividiert.

Als Kurve (s. Abb. 21, 22) dargestellt, lassen sich nun zwei recht verschiedene Täler miteinander vergleichen. Eine weitere Möglichkeit entsteht dadurch, daß man aus den mittleren Merkmalen der Querschnitte eines jeden Tales (mittlerer Böschungswinkel, Verhältnis Hanglinie zur Sohlenbreite) einen Idealquerschnitt konstruiert, dafür den Kontaktfaktor auf die gleiche Weise berechnet und darstellt. Hier treten einmal die typimmanenten Unterschiede z.B. zwischen einem Sohlental (Wahnbach siehe Tab. 1 und Abb. 21) und einem Kerbtal (Riveris siehe Tab. 2 und Abb. 22) zutage, andererseits werden die Abweichungen des natürlichen Tales von seinem Idealtyp deutlich.

Das idealisierte Wahnbachtal ist ein Sohlental mit Hangneigungen von durchschnittlich 24,5° (cos = 0,91)

und dem Verhältnis der Hanglinien zur Talsohlenbreite (Br + Bl : Ts) wie 1 : 1.

Beim Riveristal verhalten sich die überstauten Hänge zur Talsohle wie 2 : 1, die Böschungen sind im Mittel 33 - 34° geneigt (cos = 0,83). Aus diesen Werten wurde das Modell konstruiert. Die steilen Hänge setzen sich beim Riveristal noch bis etwa 400 m NN fort, so daß man es als Kerbtal bezeichnen kann (vgl. Abb. 23).

Entsprechend dem gleichmäßigen Lauf der beiden Teilbecken der Riveristalsperre zeigt die Bodenfaktorkurve (siehe Abb. 22) keine großen Unregelmäßigkeiten und weicht nicht wesentlich von der Kontaktfaktorkurve für das Riverismodell ab.

Die Kurven für die Wahnbachtalsperre spiegeln die starke Gliederung des Beckens wider: Unregelmäßigkeiten am Talboden, Wechsel von Eng- und Breitstellen, zahlreiche größere und kleinere Seitentäler.

Die bei beiden Becken hyperbolisch verlaufende Kontaktfaktorkurve für das jeweilige Modelltal stellt weitgehend die Ausgleichskurve der natürlichen Verhältnisse dar.

Der Boden- und Kontaktfaktor der Wahnbachtalsperre beträgt an der Oberfläche (Stauziel) je nach Berechnungsmethode 0,5 - 3,0 gegenüber 2,5 - 4,0 beim Riverisbecken. Mit zunehmender Tiefe steigt der Faktor beim Wahnbachstausee wesentlich langsamer als bei der kleineren Talsperre: in 25 m Tiefe 4,0 - 5,0 (Wahnbach) gegen 10,0 (Riveris), so daß die Riveriskurven flacher verlaufen, während die Wahnbachkurven stärker ausgebuchtet sind. Erst in 40 - 45 m Tiefe beginnt in der Wahnbachtalsperre der rapide Anstieg des Bodenfaktors. Das Verhältnis Wasservolumen einer Tiefenschicht zu der damit in Kontakt stehenden Bodenfläche ist beim Wahnbachbecken etwas günstiger, in unmittelbarer Grundnähe steigen beide Kurven natürlich gegen ∞. Dort sind allerdings alle Methoden unsicher, da sie sich auf kleine Flächen und Volumina bzw. wenige Profile stützen.

VI. Morphometrie und Mangankonzentration

1. Vertikale Manganschichtung und Bodenfaktor

Die Kurve des Bodenfaktors ($Bf = \frac{F'}{V'} \times 100$ nach Elster und Schmolinsky) hat annähernd die Gestalt einer Hyperbel. Auch der Verlauf der Mangankonzentration von der Oberfläche zum Sperrengrund zeigt diese Form. Je dichter die senkrechte Folge der Meßpunkte desto besser wäre die Hyperbel ausgebildet (vgl. die entsprechenden Darstellungen für die Riveristalsperre).

Bestehen neben der äußerlichen Ähnlichkeit noch weitere Übereinstimmungen, die die Abhängigkeit der Konzentration an gelöstem MnO von dem Verhältnis Schlammkontaktfläche zu Wasservolumen nachweisen könnten?
Zunächst beim Riverisbecken, weil dort beide Kurven einfacher sind, den theoretischen Überlegungen besser entsprechen. Der Bodenfaktor ist für einzelne Tiefenstufen (jeweils 5 m) berechnet, die Größen F' und V' sind konstant, bei absinkendem Wasserspiegel entfallen die oberen Schichten, das obere Ende der Kurve bleibt unberücksichtigt: Der Bodenfaktor ist eine Konstante.

Bei vollständiger Abhängigkeit der Mangankonzentration vom Bodenfaktor müßte diese sich in Bruchteilen und Vielfachen der Bf-Werte bewegen. Das ist ganz offenbar nicht der Fall.

Wenn die Manganreduktion auch vom Schlamm ausgeht, ist sie doch in erster Linie vom Sauerstoffdefizit abhängig und dieses wird von der Stabilität der Schichtung, von der Tiefe des Sees und ggf. vom Grad der Eutrophierung bestimmt.

Die Kontaktfaktorkurven für die Modelle, die bei Wahnbach und Riveris in etwa Ausgleichskurven der tatsächlichen Verhältnisse darstellen, zeigen, daß $\frac{F'}{V'}$ beim Wahnbachbecken etwas kleiner (günstiger) ist, die Riveriskurve ist im Bereich 5 - 15 m über Grund weniger ausgebuchtet.

Von daher ließen sich im Vergleich auch Ähnlichkeiten im Verhalten der Mangankonzentrationen ableiten: Über und unter den vorübergehenden Mn-Spitzen (ca. 10 m unter der Oberfläche) im Wahnbachbecken (vgl. Abb. 14, Boje A) ist der Mangangehalt (unter 0,05 - 0,1) wesentlich geringer als in der Riveristalsperre (über 0,1 - 0,2 mg/l).

Bei etwa 7 m über Grund beträgt der Kontaktfaktor des Wahnbach-Beckenmodells ca. 15, des Riverismodells die Hälfte mehr, ca. 22. Die Mangankonzentration ist aber in der Riveristalsperre mit 0,7 mg/l annähernd 10 mal höher als in der Wahnbachtalsperre. Diese beachtlichen Unterschiede stehen in keinem Verhältnis zu dem jeweiligen Kontakt- oder Bodenfaktor.

Da ja die hohen Mangankonzentrationen im Stauwasser der Riveristalsperre schon im ersten Betriebsjahr (1958) auftraten, können sie nur auf den erheblichen Mangangehalt im Talsperrengestein zurückzuführen sein (vgl. S. 51).

Auch bei der Wahnbachtalsperre treten die hohen Spitzenwerte schon seit Beginn des Staubetriebes auf, so daß die Auslaugung des Untergrundes auch hier eine Rolle spielen kann. Von Manganvorkommen im Gestein ist hier jedoch nichts bekannt.

Mit zunehmendem Alter wird diese Auslaugung wahrscheinlich durch die Reduktion und Lösung des Mangans aus dem Sedimentschlamm ersetzt.

Flentje[1)] hat in den USA 22 Staubecken in 6 Staaten untersucht, die 6 - 70 feet (2 - 22 m) tief und 1 1/2 bis über 80 Jahre alt waren. Bei allen Stauseen fand der Autor weniger als 0,1 mg/l Mn an der Oberfläche und die schichtungsbedingten Spitzen im Tiefenwasser. Flentje kommt zu dem Schluß: "The age of the reservoir, up to 80 years, appears to have little bearing on the manganese content of the stored water during July to November."

1) Flentje, Martin E., 1960

Und im Hinblick auf die Tatsache, daß Mangan einen Anteil an der Erdkruste von 0,1 % hat, stellt er fest: "From these facts it would seem that manganese should be found in practically all stored impounded waters where conditions favor its extraction from the flooded soil."

Mit Rücksicht darauf, daß der Mangangehalt des Tiefenwassers überwiegend vom Sauerstoffdefizit bestimmt wird und dieses vom Grad der Eutrophierung, der Tiefe des Sees und der Stabilität der Schichtung abhängt, läßt sich nicht sagen, wie groß der Einfluß des Bodenfaktors auf die Mangankonzentration im Wasser ist. Bei der Riveristalsperre hat die Auslaugung des Untergrundes wahrscheinlich den größten Anteil am Mangangehalt des Wassers, denn die Zuflüsse enthalten wenig Mangan und sind auch - da das Einzugsgebiet weder besiedelt noch landwirtschaftlich genutzt ist - wenig mit Nitraten und Phosphaten belastet. Der See kann kaum als eutroph bezeichnet werden, zeigt aber eine starke Sauerstoffzehrung am Grund.

2. Beckengliederung und interne Zuflußströmung

Abgesehen von den kurzen Tälern der direkt in die Sperre mündenden Nebenbäche ist die Wahnbachtalsperre in mehrere Teilbecken gegliedert: Die Vorsperre ist von dem Hauptstausee durch einen Damm vollständig getrennt. Der Übertritt des Zuflußwassers erfolgt über eine sog. Einlauftasse. Das Wasser wird durch eine Röhre unter dem Vordamm hindurch in das überstaute Bachbett geleitet. Ca. 700 m unterhalb des Vordammes wurde der Durchlaß einer überstauten Straßenbrücke mit Steinen versperrt, so daß ein Grundbecken entsteht.

Der weit in die Talsperre greifende Sporn des Ringelsteins bewirkt eine starke Einschnürung des Sees. Unterhalb dieses Sporns bildet der überstaute Wahnbach eine große Schleife: Er umfließt einen jetzt ertrunkenen

Umlaufberg (südlich des Ringelsteins, vgl. Topogr. Karte vor Bau der Talsperre als Unterlage der Karten 1, 2 und 3).

Schließlich schiebt sich der Müncheberg, ein Grauwackehärtling, von dem Material zum Bau des Staudamms gebrochen worden ist, weit in den See. Diese Einengung ist nicht so stark wie die durch den Ringelsteinsporn.

Wie u.a. Sauerwein[1)] nachgewiesen hat, kann sich der Strom des Zuflußwassers im alten Bachbett - wenn das Bachwasser kälter ist als das sommer- und herbstliche Hypolimnion - mit der relativ hohen Geschwindigkeit von 0,05 - 0,06 m/sec bis an das untere Ende eines Stausees nahezu geschlossen fortsetzen. Ist das Zuflußwasser nicht so kalt wie das unterste Hypolimnion, wird es sich aus seinem Bachbett lösen, sobald es die seiner Temperatur und Dichte entsprechende Tiefe erreicht hat, und sich dort einschichten. Auch wenn der Zuflußstrom sich dann waagerecht aufgefächert hat, kann er noch in der Nähe des Sperrbauwerks nachweisbar sein.

Ein vollständiges Unterfließen des Seewassers durch den Zuflußstrom soll im Wahnbachbecken durch die Bodenschwelle im oberen Teil verhindert werden: Das aus dem Vorbecken kommende kältere Wasser staut sich vor dem Straßendamm und überfließt ihn dann in breiter Front, wenn das Grundbecken vollständig mit kaltem Wasser gefüllt ist.

Die in Abb. 24 dargestellten Linien gleicher Temperatur sowie gleicher Mn-Konzentration und O_2-Sättigung deuten darauf hin, daß das Zuflußwasser nach Übersteigen der Schwelle wieder dem Talweg zustrebt und auf dem Weg zu der ihm adäquaten Temperatur- und Dichtestufe sich erneut etwas konzentriert: Wir finden etwa in der Mitte des Talquerschnitts eine höhere O_2-Sättigung und niedrigere Temperatur als an den Seiten. In Grundnähe scheint die

---

[1)] Sauerwein, Kurt, 1967

Mangankonzentration ebenfalls in der Mitte etwas höher zu sein als an den Rändern in gleicher Bodenentfernung.

In Verbindung mit der Tatsache, daß das Wahnbachwasser beim Eintritt in die Sperre schon einen relativ hohen Mn-Gehalt von durchschnittlich 0,2 mg/l aufweist, kann daraus geschlossen werden, daß der Zuflußstrom dieses Mangan absetzt und auf dem eigentlichen Talboden reduktionsfähiges Mangan akkumuliert wird (vgl. S.4o).

Die Querschnitte bei Boje A (vgl. Abb. 15) stützen diese Annahme offenbar, da die randlich entnommenen Proben einen geringeren Mangangehalt als die aus der Mitte des Talquerschnitts haben (siehe Abb. 16).

Weiter passen die Analysen des vom Sperrenboden heraufgeholten Schlamms in dieses Bild (vgl. S. 43 f): Sie zeigen eine Sortierung der Sedimente, SiO_2 wurde in großen Mengen gleich nach dem Eintritt der Zuflüsse in den See abgelagert, der Mn-Gehalt der Proben stieg mit abnehmender Fließgeschwindigkeit und erreichte die höchsten Werte kurz vor dem Staudamm, wo die interne Zuflußströmung sich wahrscheinlich in Wirbeln auflöst.

Auch die Probenreihe der absinkenden Schwebstoffe bestätigt prinzipiell die Abhängigkeit der Mn-Sedimentation von der Fließgeschwindigkeit des Zuflußstromes durch den Anstieg des Mangangehalts der Proben von den talaufwärts zu den talabwärts gelegenen Bojen.

Aus alldem läßt sich auch die "Lutters-Mühle-Frage" (vgl. S. 38 f) erklären. Möglicherweise stammt ein Teil des erhöhten Mangangehaltes im Metalimnion aus der Auslaugung der (evtl. mit Mn-Spurendünger behandelten) Ackerfläche dieses ehemaligen Betriebes. Doch fällt mit der Mn-Konzentrationsspitze am Grund bei Boje F (etwas unterhalb der ehemaligen Lutters-Mühle) etwa die Tiefe zusammen, in die sich das Zuflußwasser im Spätsommer/Herbst einschichtet, sich also aus dem Bachbett bzw. vom eigentlichen Talboden löst und horizontal bis zum Staudamm weiterfließt.

Da die Einschichtungstiefe sehr stark von der täglichen Witterung abhängt (hohe Tages- und niedrige Nachttemperaturen bewirken Konvektion des Epilimnions; unterschiedliche Temperatur des Zuflußwassers), können die Verhältnisse sich sehr kurzfristig ändern (vgl. Sauerwein S. 17 ff). Nicht alle Messungen der in Abb. 14 dargestellten Serien sind am gleichen Tag durchgeführt worden: Während am 15.8. bei Boje A in 10 m Tiefe 0,07 mg/l Mn festgestellt wurden, waren es einen Tag später bei Boje B nur 0,02 mg/l und die metalimnische Konzentrationsspitze war gar nicht sichtbar. Der Zuflußstrom war also 24 Stunden später im unteren Sperrenbereich nicht mehr feststellbar. Umgekehrt am 8. (Boje B) und 10.10. (Boje A) in 12 m Tiefe: 0,12 bzw. 0,06 mg/l. Bei den Bojen C und D treten ähnliche Verschiebungen auf.

Da für die Riveristalsperre keine entsprechenden Analysen (Reihen von Tiefenschnitten, Querschnitte, Sedimentproben) vorliegen, kann kein Vergleich der Zuflußströme und deren Auswirkungen vorgenommen werden. Das erscheint auch wenig sinnvoll, da das Riveriszuflußwasser einen wesentlich geringeren Mn-Gehalt hat als das des Wahnbachs, die beiden Stauwässer sich aber umgekehrt verhalten.

Im Hinblick auf den Bodenfaktor, der als Indikator der Austausch- und Lösungsvorgänge zwischen Schlamm und Wasser gilt, ist die von der internen Zuflußströmung abhängige Sedimentation von großer Bedeutung.

Das reduktionsfähige Mangan wird nicht gleichmäßig auf die benetzte Fläche verteilt, sondern auf dem eigentlichen Talboden, also unter dem Hauptzuflußstrom wird mehr akkumuliert als an den Rändern. Außerdem wird durch die Neigung der überstauten Talhänge dort weniger sedimentiert als auf dem ebenen Boden. Die Menge des absinkenden Detritus, von dem wir annehmen können, daß er unter der Oberfläche im Epilimnion gleichmäßig produziert wird und senkrecht ausfällt, wird von dem Wasservolumen bestimmt, das sich über einer bestimmten Fläche befindet. Die Wassersäule über

z.B. 1 m^2 Seegrund nimmt zum Ufer hin an Höhe ab, und der Querschnitt der Wassersäule wird mit zunehmender Hangneigung um den cos des Böschungswinkels kleiner.

Selbst wenn wir also den Bodenfaktor als Indikator der Wechselwirkungen im Schlamm-Wasserkontakt ansehen könnten, müßte der Faktor sehr differenziert betrachtet werden, weil die Schlammbedeckung der überstauten Fläche sehr unterschiedlich sowohl in der Quantität als auch in der Qualität ist.

3. Schlußbemerkung

Am Bodenfaktor zeigt sich m.E. sehr deutlich, daß bei der Übertragung von morphometrischen Parametern, die die Limnologie für natürliche Seen entwickelt hat, auf Talsperren den Unterschieden in Morphologie und Genese der Becken Rechnung getragen werden muß. Die Kenntnis der Abhängigkeit der chemischen und biologischen Prozesse in größeren stehenden Gewässern von den physikalischen Vorgängen läßt es als sicher erscheinen, daß die Beckenform auf die Konzentration bestimmter Inhaltsstoffe im Stauwasser einen Einfluß hat. Wegen der Vielfalt der Interdependenzen ist eine genaue Abgenzung der Bereiche, in denen die einzelnen Faktoren (Inhaltsstoffe des Zuflußwassers, Form und Untergrund des Seebeckens, Zu- und Abfluß usw.) wirksam sind, und deren Überschneidungen vorerst nicht möglich.

Es kann zwar mit einiger Sicherheit gesagt werden, daß die hohen Mn-Konzentrationen im Wasser der Wahnbachtalsperre durch Akkumulation von Sedimenten, die die Zuflüsse in den See verfrachten, bedingt sind und daß die ähnlich hohen Manganmengen im Riverisstausee auf Auslaugung des devonischen Untergrundes zurückgehen. In beiden Fällen gehen Reduktion und Lösung vom Seeboden aus und sollten mit Hilfe des Bodenfaktors (oder des Kontaktfaktors oder am Modell) bestimmt werden. Aber die Abhängigkeit wird nicht sichtbar und ist aus dem Zahlen- und Kurven-

vergleich nicht ablesbar, weil sie z.B. von der O_2-Zehrung überlagert wird. Da die Sauerstoffzehrung mit der Tiefe zunimmt und der Seeboden ebenfalls uneinheitlich ist, kann man den Bodenfaktor nicht als wirklichen Indikator benutzen.

Wenn man die weiteren Faktoren in Rechnung stellt, ist lediglich ein roher Vergleich möglich, der dann folgendermaßen aussähe: Wegen der hohen Nährstoffbelastung der Zuflüsse und der großen Tiefe der geplanten Talsperre X ist mit einer starken O_2-Zehrung am Grund zu rechnen. Auf dem relativ großen ebenen Talboden wird sich mehr reduktionsfähiges Mangan ansammeln als in der Talsperre Y mit V-förmigem Querschnitt, wo die Schlammoberfläche am Grund kleiner bleibt. Da die Sperre Y auch weniger eutroph und das Becken flacher ist, wird das O_2-Defizit am Grund kleiner sein.

Zusammenfassung

Die Wahnbachtalsperre bezieht ihr Wasser aus einem besiedelten und landwirtschaftlich intensiv genutzten Einzugsgebiet am Südwestrand des Bergischen Landes. Die Zuflüsse sind durch Abwässer und Abspülung der gedüngten Äcker stark mit Phosphaten und Nitraten belastet, daher ist die Talsperre eutroph mit z.T. vollständigem Sauerstoffschwund am Grund.

Die Riveristalsperre hat ein unbesiedeltes Einzugsgebiet im Osburger Hochwald, das zu fast 90 % bewaldet ist. Trotzdem findet auch hier starke Sauerstoffzehrung am Grund statt, und wir haben bei beiden Stauseen einen hohen Mangangehalt, besonders im unteren Hypolimnion.

Die physikalischen, chemischen und biologischen Grundlagen der Limnologie werden erläutert: die jährlichen Zirkulations- und Stagnationsperioden und die davon abhängige Schichtung des Sees in den trophogenen und den tropholytischen Bereich, die O_2-Zehrung als Folge des Abbaus der Biomasse und die Reduktion des unlöslichen MnO_2 in lösliches MnO.

Fünf Analysenreihen aus der Wahnbachtalsperre (Zuflüsse, Tiefenschnitte, Querschnitte, Schwebstoffe und Bodensedimente) und zwei aus der Riveristalsperre (Zuflüsse und Tiefenschnitte) werden erläutert und besonders die Mangangehalte miteinander verglichen.

Für beide Talsperren wurden morphometrische Maßzahlen und auf ihre Brauchbarkeit beim Vergleich künstlicher Seen untersucht.

Der Ausbaugrad der Talsperren hat einen Einfluß auf die Wasserqualität, da bei geringem Ausbaugrad relativ viel Wasser die Talsperre unbewirtschaftet durchfließt aber Sedimente zurückläßt.

Das Verhältnis Einzugsgebiet zu Stauinhalt ist als Maßzahl wenig geeignet, da es die den Abfluß und die

Qualität des Zuflußwassers bestimmenden Faktoren Klima, Bodenart, Bodenbedeckung und Nutzungsform nicht berücksichtigt.

Die Umfangsentwicklung nimmt bei Talsperren bedingt durch ihre Genese immer einen recht hohen Wert an (Wahnbachtalsperre 4,2; Riveristalsperre 2,9). Talsperren stellen einen extremen Fall von Durchflußseen dar.

Für die Ermittlung der durchschnittlichen Tiefe werden zwei Verfahren erwähnt: 1. Volumen durch Oberfläche dividiert, 2. nach H. Wagner als arithmetisches Mittel aller interpolierten Tiefenwerte bei den Schnittpunkten eines auf den Plan gelegten Netzes. Wenn die maximale Tiefe wesentlich größer ist als die mittlere, ist mit stärkerer O_2-Zehrung in der Tiefe zu rechnen. Bei dieser Aussage ist auch das Verhältnis Oberfläche zu Tiefe zu berücksichtigen.

Alle diese Parameter müssen für den Stausee bei verschiedenen Wasserständen berechnet werden, da durch die Bewirtschaftung der Talsperre verursachte Seespiegelschwankungen die einzelnen Größen (Volumen, Oberfläche, Umfang, Tiefe) in verschiedenen Verhältnissen beeinflußt werden.

Die Relation Epilimnion zu Hypolimnion (= trophogene zu tropholytische Zone) kann nur für ganz kurz begrenzte Zeiträume hergestellt werden, weil sie vom Wetter, Zu- und Abfluß abhängt. Im eutrophen See ist es wichtig zu wissen, wie groß Produktions- und Oxydationsräume sind, um anaerobe Verhältnisse zu vermeiden durch Einschränkung der Produktion oder/und Belüftung des Tiefenwassers.

Der Bodenfaktor gilt als Indikator für die Verdünnung der aus dem Schlamm gelösten Stoffe ($\frac{V'}{F'}$, nach Grimm) bzw. für die Größe der Schlammfläche im Verhältnis zum lösenden Wasser ($\frac{F'}{V'}$, nach Elster und Schmolinsky). Beide Parameter wurden für natürliche Seen entwickelt und lassen den relativ großen Fehler unberücksichtigt, der durch die

starke Neigung der Talsperrenböschungen entsteht. Ersatzweise wird ein Kontaktfaktor (Kontakt Wasser - Schlamm) vorgeschlagen, der vom morphologisch relevanten Talquerschnitt ausgeht. Für das Wahnbach- und das Riverisbecken wurden aus den Hauptmerkmalen Modelltäler konstruiert und dafür die Kontaktfaktoren errechnet, die untereinander und mit den natürlichen Tälern verglichen werden können.

Danach hat der Wahnbachstausee einen günstigeren Bodenfaktor bzw. Kontaktfaktor als die Riveristalsperre. Eine direkte Abhängigkeit der Manganreduktion von dem Verhältnis Wasservolumen : benetzter Fläche konnte nicht nachgewiesen werden, vielmehr wird diese von anderen physikalischen, chemischen und biologischen Vorgängen überlagert, die die Mangankonzentration am Sperrengrund hervorrufen.

Beim Wahnbach wird sehr viel Mangan von den Zuflüssen in den See verfrachtet, bei der Riveristalsperre das meiste aus dem Untergrund ausgelaugt, da das Gestein viel Mangan enthält.

Der Einfluß, den die Beckenform auf die Wasserqualität hat, ist zahlenmäßig mit den Parametern sehr schwer zu erfassen, weil die Wirksamkeitsbereiche nicht von einander abzugrenzen sind.

Literaturverzeichnis

Alsterberg, G.

Die Sauerstoffschichtung der Seen
Bot. Notiser 25/1927 S. 255 - 275

Aufsess, Otto Freih. v. u. z.

Die physikalischen Eigenschaften der Seen
Braunschweig 1905

Bogomolow, G. W.

Grundlagen der Hydrogeologie
Berlin 1958

Borkenstein, W.

Die Trinkwassertalsperre Riveris der Stadtwerke Trier
Siemens Z. 33/1959

Breddin, H.

Löß, Flugsand und Niederterrasse am Niederrhein
Jb. Pr. Geol. LA. 1925 Bd XLVI Berlin 1926

Einsele, W.

Über die Beziehung des Eisenkreislaufs zum Phosphatkreislauf des eutrophen Sees
Arch. Hydrobiol. 29/1936

Physikalisch-chemische Betrachtungen des limnischen Mangan- und Eisenkreislaufs
Verh. int. Ver.
Limnologie 8/1937

Über chemische und kolloidchemische Vorgänge in Eisenphosphat-Systemen unter limnochemischen und limnogeologischen Gesichtspunkten
Arch. Hydrobiol. 33/1938

Versuch einer Theorie der Dynamik der Mangan- und Eisenschichtung im eutrophen See
Die Naturwissenschaften 28/1940

Die Umsetzung von zugeführtem, anorganischem Phosphat im eutrophen See und ihre Rückwirkung auf seinen Gesamthaushalt
Z. Fisch. 39/1941

Einsele, W. und Vetter, H.

Untersuchungen über die Entwicklung der physikalischen und chemischen Verhältnisse im Jahreszyklus in einem mäßig eutrophen See (Schleinsee bei Langenargen)
Int. Rev. Hydrobiol. 36/1938

Elster, H.J. und Schmolinsky, F.

Morphometrie, Klimatologie und Hydrographie der Seen des südlichen Schwarzwaldes I
Arch. Hydrobiol. Suppl. Bd. 20/1954

Flentje, Martin E.

How is your manganese?
Water Works Engineering 4/1960

Ganssen, R. und Hädrich, F.

Atlas zur Bodenkunde
Meyers großer physikalischer Weltatlas Bd.I
Mannheim 1965

Geologisches Gutachten des Geol. Landesamtes von Rheinland-Pfalz über den Bau einer Talsperre unterhalb der Osburger Mühle
Unveröffentlicht 1953

Geologische Karte von Preußen und den benachbarten deutschen Ländern
mit Erläuterungen von H. Udluft
Blatt 5109 1939
Blatt 5209

Grim, J.

Die Kerspe Talsperre
Unveröffentlicht 1959

Halbfass, W.

Grundzüge einer vergleichenden Seenkunde
Berlin 1933

Die Seen der Erde
P.M. Erg.heft 185/1922

Hutchinson, G.E.

A Treatise on Limnologie
New York 1967

Karcher, F.H.

Untersuchungen über den Stickstoffhaushalt in ostpreußischen Waldseen
Arch. Hydrobiol. 35/1939

Keller, R.

Natur und Wirtschaft im Wasserhaushalt der rheinischen Landschaften und Flußgebiete
Forsch.z.dt. Landeskunde Bd. 57
Remagen 1951

Gewässer und Wasserhaushalt des Festlandes - eine Einführung in die Hydrographie
Berlin 1961

Keller - Haffennegger, M.

Zur Hydrochemie des Grund- und Quellwasser in den nördlichen Rheinlanden
Forsch.z.dt. Landeskunde Bd. 50
Landshut/Bay. 1951

Klapper, Helmut

Bedeutung der Vorbecken an Trinkwasser-Talsperren erläutert am Beispiel der Saidenbachtalsperre
Wasserwirtsch. u. Wassertechnik 10/1960

Küster, K. und Schneider, S. (Bearb.)

Der Siegkreis
Die Landkreise in Nordrhein-Westfalen
Reihe A 1959

Löwe, Günter

Landwirtschaftliche Düngung und Trinkwassergewinnung aus Talsperren
Wasserwirtsch. u. Wassertechnik 15/ 1965

Mortimer, C.H.

The exchange of dissolved substances between mud and water in lakes
Jour. Ecol. 29/1941

The use of models in the study of water movements in stratified lakes
Verh. int. Ver. Limnol. XI 1950

Müller - Miny, H.

Bodenabtragung und Erosion im Südbergischen Bergland.
Berichte zur Deutschen Landeskunde 2. Bd. 1954

Neuenschwander, Gustav

Morphometrische Begriffe
Diss. Zürich 1944

Ohle, W.

Chemische und physikalische Untersuchungen norddeutscher Seen
Arch. Hydrobiol. 26/1934

Der Vorgang rasanter Seenalterung in Schleswig-Holstein
Die Naturwissenschaften 40/1953

Richter, Max

Die alttertiäre Verwitterungsrinde ...
Ber. üb. d. Vers. d. Niederrh. geol. Ver.
1917 - 22

Ruttner, F.

Grundzüge der Limnologie
Berlin 1962, 3. Aufl.

Sauerwein, Kurt

Wasseruntersuchungen mit Radioisotopen an der Lingesetalsperre
Düsseldorf 1967

Schilder, Siegfried

Trink- und Betriebswasserversorgung im Bonn-Siegburger Raum
G.W.F. 38/1958

Schulze, Eberhard

Limnologische Gesichtspunkte bei der Errichtung von Trinkwassertalsperren
Arch. f. Hyg. und Bakteriologie 146/1962

Schweisfurth, R. und Mertes, R.

Mikrobiologische und chemische Untersuchungen über Bildung und Bekämpfung von Manganschlamm - Ablagerungen in einer Druckleitung für Talsperrenwasser
Arch. Hyg. 146/1963

Stadtwerke Trier

Riveristalsperre
Bestandsplan 1 : 1.000

Timmermann, R.

Die Talsperren am N-Rand des Rheinischen Schiefergebirges. Ihre Bedeutung für den Abflußvorgang und ihre wirtschaftliche Nutzung
Forschung z. dt. Landeskunde
Bd. 53, Remagen 1951

Topographische Karte

TK 25 Blatt 5010, 5109, 5110
6206, 6207, 6306, 6307
TK 50 5108, 5110, 5308

Ullmanns Enzyklopädie der technischen Chemie
München/Berlin 1960, 3. Aufl.

Wagner, H.

Mathematische Geographie
Teil 1 der Allgemeinen Erdkunde
Hannover 1920, 10. Aufl.

Wahnbachtalsperrenverband

Geologisches Gutachten zum Bau der Wahnbachtalsperre,
Unveröffentlicht

Topographische Aufnahme
Wahnbachtal 1 : 500
Siegburg 1956

Auswertung der wöchentlichen Talsperrenschnitte des Jahres 1959 im Vergleich zu denen des Jahres 1958 und der gleichzeitig entnommenen Proben zur Gehaltsbestimmung verschiedener Phyto- und Zooplanktonarten
Siegburg 1960
Unveröffentlicht

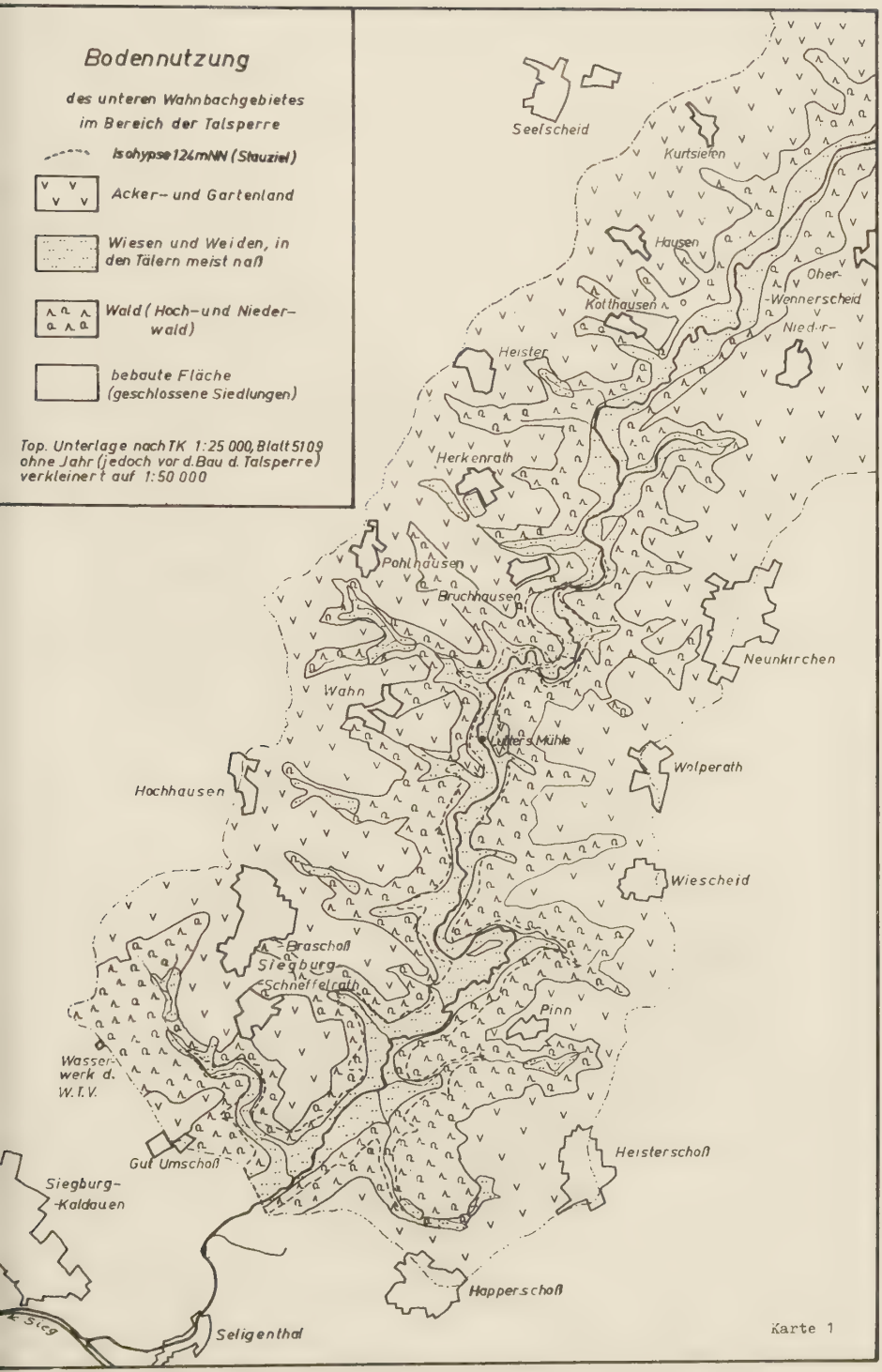
A N H A N G

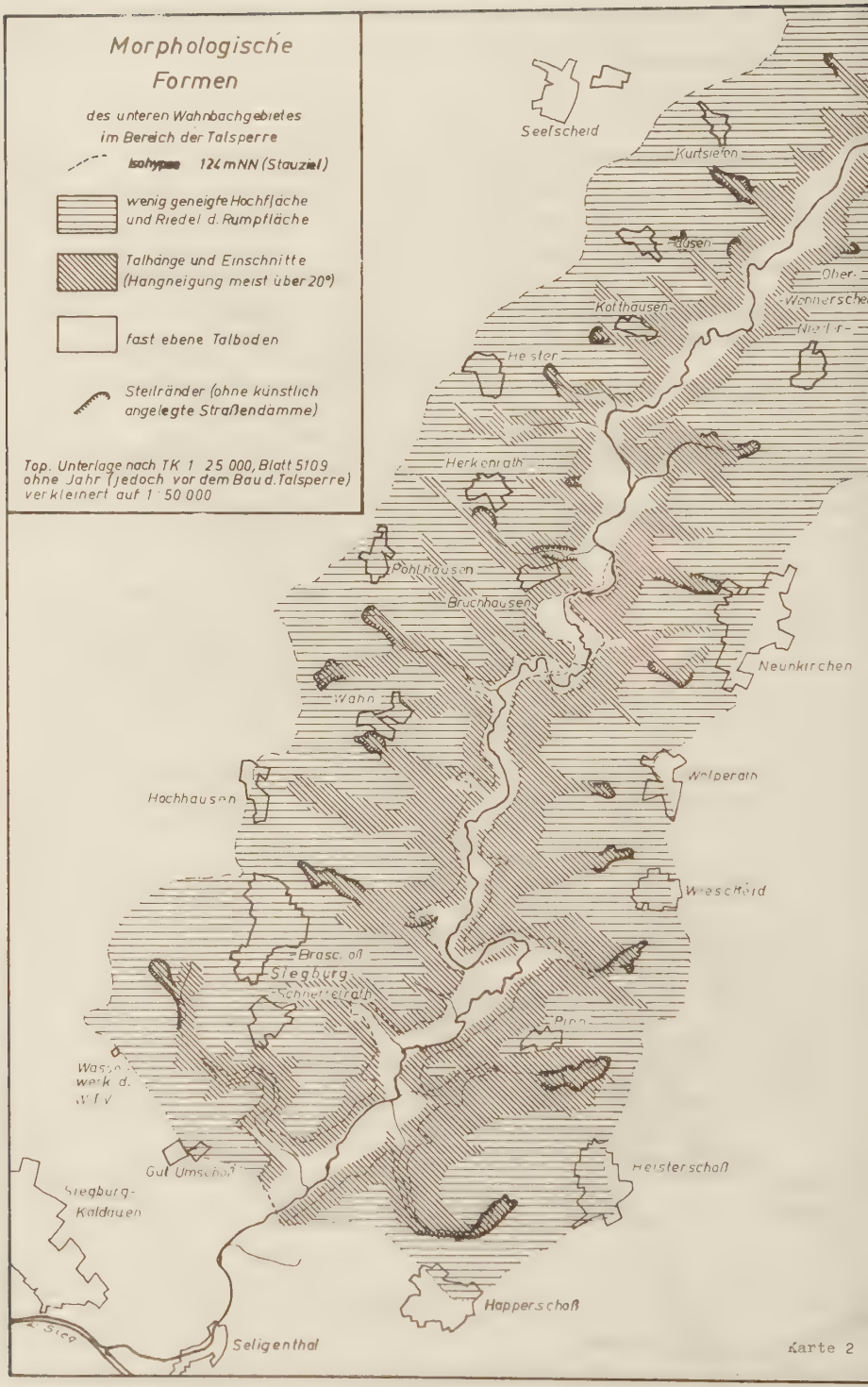
Karten, Tabellen und Abbildungen

Inhaltsverzeichnis

Karte 1	Bodennutzung des unteren Wahnbachgebietes im Bereich der Talsperre
Karte 2	Morphologische Formen des Wahnbachgebietes
Karte 3	Geologie des Wahnbachgebietes
Tab. 1	Daten und morphometrische Maßzahlen der Wahnbachtalsperre
Tab. 2	Daten und morphometrische Maßzahlen der Riveristalsperre
Tab. 3a	Datenvergleich der Wahnbach- und Riveristalsperre
Tab. 3b	Vergleich der Volumina und Teilvolumina sowie deren Sauerstoffgehalt
Abb. 1	Gefälleprofil des Wahnbachs
Abb. 2	SW-Teil des Einzugsgebiets der Wahnbachtalsperre (Foto)
Abb. 3	Tonschiefer mit Grauwackebänken am Müncheberg (Foto)
Abb. 4	Gefaltete Grauwacke (Foto)
Abb. 5 a+b	Basaltsäulen auf dem Steimelskopf (Foto)
Abb. 6	Aufschluß der Lohmarer Sandterrassen (Foto)
Abb. 7 a+b	Ein Siefen (Foto)
Abb. 8	Gefälle des Wahnbachtalweges im Bereich der Talsperre
Abb. 9	Der Wahnbachstaudamm (Foto)
Abb. 10	Drohner Quarzit am W-Rand der Riveristalsperre (Foto)
Abb. 11	Luftaufnahme der Riveristalsperre (Foto)
Abb. 12	Verteilung der Inhaltsstoffe in Abhängigkeit von der Temperaturschichtung
Abb. 13	Belüftungsanlage in der Wahnbachtalsperre (Foto)
Abb. 14	Mangangehalt des Talsperrenwassers

Abb. 15 Mangangehalt des Talsperrenwassers in Grundnähe
Abb. 16 Linien gleicher Mangankonzentration
Abb. 17 Mangangehalt der Schwebstoffsedimente
Abb. 18 Entnahmestellen der Sedimentproben aus der Wahnbachtalsperre
Abb. 19 Mangangehalt des Bodens im Wahnbacheinzugsgebiet
Abb. 20 Jahresgänge der Temperatur und Manganschichtung in der Riveristalsperre
Abb. 21 Bodenfaktor und "Kontaktfaktor" des Wahnbachbeckens
Abb. 22 Bodenfaktor der Riveristalsperre
Abb. 23 Luftaufnahme des Riverisdamms (Foto)
Abb. 24 Linien gleicher Temperatur und Konzentration der Inhaltsstoffe in der Wahnbachtalsperre


Bodennutzung
des unteren Wahnbachgebietes
im Bereich der Talsperre
Isohypse 124 m NN (Stauziel)
Acker- und Gartenland
Wiesen und Weiden, in den Tälern meist naß
Wald (Hoch- und Niederwald)
bebaute Fläche (geschlossene Siedlungen)
Top. Unterlage nach TK 1:25 000, Blatt 5109 ohne Jahr (jedoch vor d. Bau d. Talsperre) verkleinert auf 1:50 000
Seelscheid
Kurtsiefen
Hausen
Ober-Wennerscheid
Nieder-Wennerscheid
Kotthausen
Heister
Herkenrath
Pohlhausen
Bruchhausen
Neunkirchen
Wahn
Lutters Mühle
Wolperath
Hochhausen
Wiescheid
Braschoß
Siegburg-Schneffelrath
Pinn
Wasserwerk d. W.I.V.
Gut Umschoß
Heisterschoß
Siegburg-Kaldauen
Happerschoß
Seligenthal
Karte 1


Morphologische Formen
des unteren Wahnbachgebietes im Bereich der Talsperre
Isohypse 124 mNN (Stauziel)
wenig geneigte Hochfläche und Riedel d. Rumpffläche
Talhänge und Einschnitte (Hangneigung meist über 20°)
fast ebene Talboden
Steilränder (ohne künstlich angelegte Straßendämme)
Top. Unterlage nach TK 1 25 000, Blatt 5109 ohne Jahr (jedoch vor dem Bau d. Talsperre) verkleinert auf 1 : 50 000
Seelscheid
Kurtsiefen
Ausen
Ober-
Wennerscheid
Kotthausen
Hester
Herkenrath
Pöhlhausen
Bruchhausen
Neunkirchen
Wahn
Hochhausen
Wolperath
Wrescheid
Brasch
Siegburg
Schmerenhof
Pipp
Wasserwerk d. WfV
Gut Umschoß
Heisterschoß
Siegburg-Kaldauen
Happerschoß
Seligenthal
Karte 2

Geologie
des unteren Wahnbachgebietes
im Bereich der Talsperre
Vulkanit (Tertiär)
Feldspatbasalt
Metamorphite (Unterdevon)
Tonschiefer u. Grauwacken
„Wahnbachschichten"
Sedimente (Quartär)
Löß u. Lößlehm (Diluvium)
Talsande (Alluvium)
tektonische Verwerfungen
morphologische Steilränder
Nach: Geolog. Karte von Preußen.....
Blatt 5109
verkleinertauf 1:50 000
Seelscheid
Ober-
Kothausen
Herkenrath
Pohlhausen
Neunkirchen
Wahn
Hochhausen
Wolperath
Wiescheid
Braschoß
Siegburg
Pinn
Wasser-
werk d.
W.T.V
Gut Umschoß
Heisterschoß
Siegburg-
Kaldauen
Happerschoß
Seligenthal

Karte 3

Daten und morphometrische Maßzahlen der Wahnbachtalsperre

m über NN	m am Pegel	Fläche zw. den Isobathen (planim.) Projektion der anteil. Seebodenfl.	Oberfläche bei Wasserstand Spalte 1	Volumen zw. den Isobathen	Sperrenvolumen bei Wasserstand Spalte 1	Umfang bzw. Länge d. Isobathe	Umfangsentwicklung	durchschn. Tiefe V : O	Oberfläche max x 1.000	Grimm $\bar{V}_K$	E. & Schm. $\bar{V}_i$ x 100	ΣU / ΣJ x 100	Modell
										Bodenfaktor		Kontaktfaktor	
1a	1b	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11 *	12 *	13 *
124,1	54,1	4.200	2.127.200	140.000	40.937.000	21,5	4,2	19,3	44	33,3	3,0		
124	54	262.100	2.123.000	3.947.000	40.797.000					15,1	6,65	1,5	2,0
122	52	104.000	1.860,900	3.660.000	36.850.000					35,2	2,84	2,1	2,1
120	50	100.600	1.756.900	3.450.000	33.190.000	19,5	4,15	18,2	40	34,3	2,91	2,9	2,2
118	48	121.300	1.656.300	3.230.000	29.740.000					26,7	3, 75	2,3	2,3
116	46	121.600	1.535.000	2.990.000	26.510.000					24,7	4,06	3,3	2,4
114	44	110.300	1.413.400	2.750.000	23.520.000					24,9	4,02	3,0	2,55
112	42	108.300	1.303.100	2.540.000	20.770.000					23,5	4,26	3,8	2,7
110	40	96.500	1.194.800	2.330.000	18.230.000	15,5	4,0	15,3	35	24,2	4,14	3,8	2,9
108	38	86.100	1.098.300	2.150.000	15.900.000					25,0	4,01	3,4	3,1
106	36	118.700	1.012.200	1.950.000	13.750.000					17,1	6,1	6,9	3,3
104	34	90.400	893.500	1.730.000	11.800,000					19,2	5,22	4,0	3,6
102	32	64.900	803.100	1.590.000	10.070.000					24,6	4,06	5,1	3,9
100	30	50.900	738.200	1.460.000	8.480.000	9,5	3,1	10,7	30,5	28,8	3,48	3,5	4,4
98	28	72.600	687.300	1.340.000	7.020.000					18,4	5,42		4,9
96	26	59.100	614.700	1.210.000	5.680.000					23,1	4,33	5,7	5,5
94	24	67.700	555.600	1.080.000	4.470.000					16,0	6,25	8,7	6,3
92	22	95.800	487.900	920.000	3.390.000					9,6	10,81	8,4	7,4
90	20	113.000	392.100	710.000	2.470.000	5,5	2,5	6,3	27,5	15,9	6,28	8,3	8,8
88	18	45.900	279.100	560.000	1.760.000					8,0	12,5	5,4	11,0
86	16	43.900	233.200	460.000	1.200.000					9,55	10,5	9,3	14,7
84	14	54.300	189.300	360.000	740.000					6,63	15,1	16,4	22,0
82	12	52.000	135.000	260.000	380.000					5,0	20,0	38,0	44,0
80	10	83.000	83.000	120.000	120.000	2,0	1,95	1,45	20	1,45	69,1		

*siehe graphische Darstellung Abb. 21

Tabelle 1

Daten und morphometrische Maßzahlen der Riveristalsperre

m über NN	Fläche zw. den Isobathen (planim) = Projektion der anteil. Seebodenfl.	Oberfläche bei Wasserstand Spalte 1	Volumen zw. den Isobathen	Sperrenvolumen bei Wasserstand Spalte 1	Umfang bzw. Länge der Isobathe	Umfangsentwickl.	durchschn. Tiefe V : O	mittlere Tiefe nach Wagner	Oberfläche $\frac{F}{F_{max}} \times 1.000$	Bodenfaktor V Grimm $\frac{V}{F}$	Bodenfaktor E.& Schm. $\frac{E_v}{F} \times 100$	Kontaktfaktor $\frac{\sum U}{F} \times 100$	Kontaktfaktor Modell
1	2	3	4	5	6	7	8a	8b	9	10	11	12	13
319	7.900	262.400	275.000	4.580.000	5,2	2,87	17,4	14,8	6,6	34,8	2,87	3,46	3,8
318	16.300	254.500	510.000	4.305.000		2,97				31,3	3,2		
316	16.700	238.200	490.000	3.795.000						29,4	3,4	3,79	4,2
314	17.000	221.500	460.000	3.305.000						27,1	3,7		
312	18.700	204.500	445.000	2.845.000						23,8	4,2		
310	17.800	185.800	385.000	2.400.000	4,3	3,01	12,9	12,8	5,7	21,7	4,6	4,08	4,8
308	16.200	168.000	340.000	2.015.000						21,1	4,75		
306	14.300	151.800	305.000	1.675.000						21,3	4,7	7,27	5,5
304	12.000	137.500	255.000	1.370.000						21,3	4,7		
302	13.500	123.500	215.000	1.115.000						16,0	6,3		
300	12.500	110.000	190.000	900.000	2,7	2,5	8,2	9,2	4,9	15,3	6,6	7,74	6,6
298	13.000	97.500	160.000	710.000						12,4	8,1		
296	12.500	84.500	140.000	550.000						11,2	8,9		
294	11.500	72.000	115.000	410.000	1,85	2,0	5,3		4,15	10,0	10,0	11,44	8,5
293													
292	11.000	60.500	95.000	295.000						6,6	11,6		
290	10.500	49.500	75.000	200.000	1,35	1,72	4,05	4,7	3,95	7,25	14,0	15,7	12,9
288	10.000	39.000	51.000	125.000						5,1	19,6		
286	9.000	29.000	35.000	74.000						3,7	27,2		
284	8.200	20.000	23.000	39.000						2,8	35,6	24,19	23,4
282	6.800	11.800	10.800	16.000						1,59	63,0		
280	2.700	5.000	3.000	5.200	0,35	1,4	0,96		0,2	1,07	93,5	200	
279	2.300	2.300	2.200	2.200									

*siehe graphische Darstellung Abb. 22

Tabelle 2

Datenvergleich der Wahnbach- und Riveristalsperre
(z.T. aus dem "Protokoll der gemeinsamen Sitzung"vom 29. 3.1965)

	Wahnbachtalsperre	Riveristalsperre
1. Einzugsgebiet	69,3 km^2	21,8 km^2
2. Einwohner	8.ooo in 86 Wohnplätzen 189 Einwohner/km^2 sperrennah 117 " " sperrenfern	ca. 5o in 1 Heim und 7 Wochenendhäusern
3. Bodennutzung	56 % Ackerland	88,7 % Wald, 5,4 % Acker- und 4,6 % Wiesenland, 1,3 % Wasser
4. Abfluß	39,9 hm^3	11,o hm^3
5. Stauinhalt	41,484 hm^3	4,58o hm^3
6. Ausbaugrad	1o5 %	44 %
7. Oberfl. d. Stausees	2.147 km^2	o,263 km^2
8. max. Tiefe	48,3 m	41,5 m
9. Breite am Sperrbauwerk	356 m	176 m
1o. Länge des Stausees	5,5 km	1,4 und o,7 km
11. Hänge : Sohle im Stausee	1 : 1	2 : 1
12. Mittlerer Böschungswinkel	24,5 °	33,5°

Tabelle 3 a

Vergleich der Volumina und Teilvolumina sowie deren Sauerstoffgehalt (in Tonnen O_2)
(z.T. aus dem "Protokoll der gemeinsamen Sitzung" vom 23. 9.1965)

	Wahnbachtalsperre			Riveristalsperre		
	am 8. 5.63	7. 8.	2o. 8.	4. 5.64	3. 8.	17. 8.
Volumen (in m^3)	39.262.1oo	33.74o.1ooo	32.8o5.4oo	3.25o.ooo	2.35o.ooo	2.22o.ooo
		Anfang Mai	Anfang Aug.	Ende Aug.		
$\frac{V\ Wahnb.}{V\ Riveris}$		12,o7	14,35	14,79		
Volumen Hypolimnion (V_h)	22.2o6.1oo	18.542.1oo	17.923.4oo	1.34o.ooo	88o.ooo	82o.ooo
$\frac{V_h\ Wahnb.}{V_h\ Riv.}$		16,57	21,o7	21,86		
Volumen Epilimion(V_e)1om	17.o56.ooo	15.198.ooo	14.882.ooo	1.91o.ooo	1.47o.ooo	1.4oo.ooo
$\frac{V_e\ Wahnb.}{V_e\ Riv.}$		8,93	1o,34	1o,63		
$\frac{V_h}{V_e}$	1,3o	1,22	1,2o	o,7o	o,6o	o,59
O_2 im Hypl.	2o8,7	129,8	136,2	15,3	6,o	4,8
$O_2(h)$Wahnb.:$O_2(h)$Riv.		13,64	21,63	28,38		
O_2 im Epil.	189,3	142,9	139,9	21,8	13,1	11,9
$O_2(e)$Wahnb.:$O_2(e)$Riv.		8,68	1o,91	11,76		
$O_2(h):O_2(e)$	o,1o	o,91	o,97	o,7o	o,46	o,4o

Tabelle 3

Abb 1

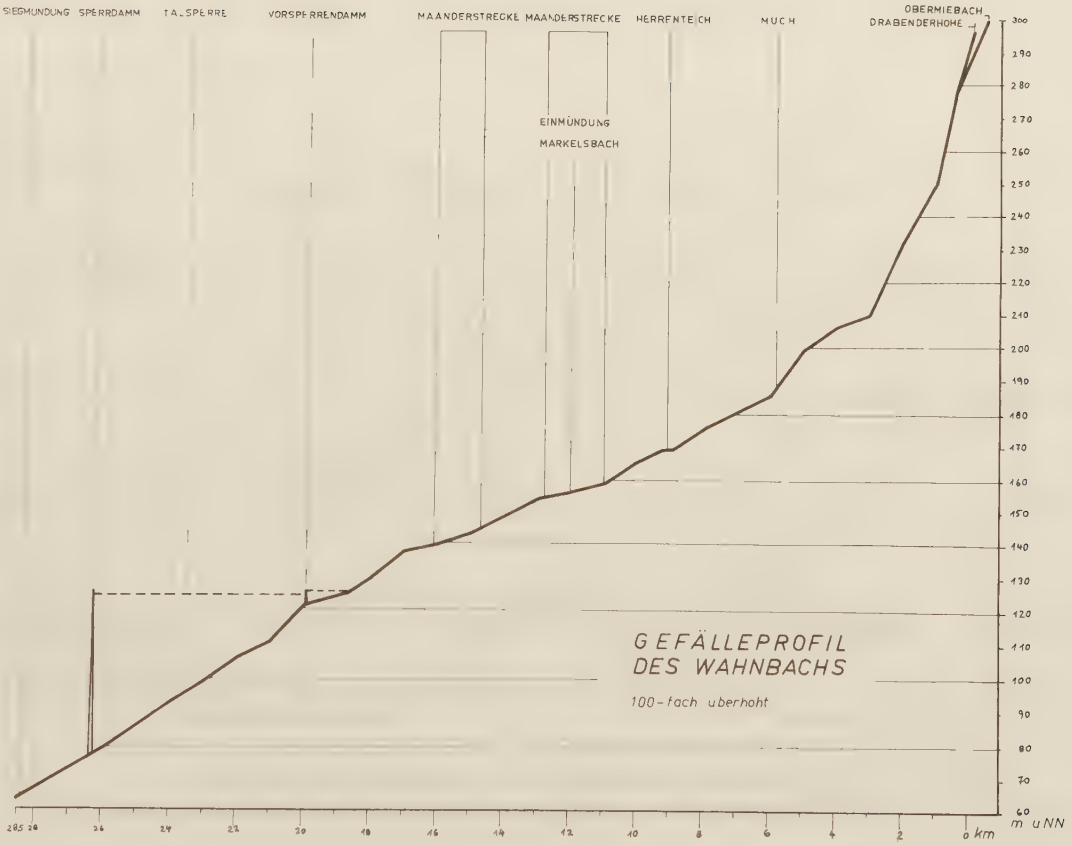

SIEGMÜNDUNG
SPERRDAMM
TALSPERRE
VORSPERRENDAMM
MAANDERSTRECKE
MAANDERSTRECKE
HERRENTEICH
MUCH
OBERMIEBACH
DRABENDERHÖHE
EINMÜNDUNG
MARKELSBACH
GEFÄLLEPROFIL
DES WAHNBACHS
100-fach überhöht
300
290
280
270
260
250
240
230
220
210
200
190
180
170
160
150
140
130
120
110
100
90
80
70
60
m üNN
28,5 26
24
22
20
18
16
14
12
10
8
6
4
2
0 km

Abb. 2 Südwestlicher Teil des Einzugsgebietes der Wahnbachtalsperre. Blick von SE über die Talsperre nach NW. In der Mitte rechts der fast vollständig gefüllte Stausee, darüber die bewaldeten Talhänge. Links ist deutlich die Talschulter (170 - 180 m NN) und der Wechsel von Wald (auf den Hängen) und Ackerfläche (auf der Rumpffläche) zu sehen. Im Hintergrund links (der Ortsteil Siegburg-) Schneffelrath.

Abb. 3 Tonschiefer mit Grauwackebänken am Müncheberg.
Das weiche Material (Siltstein) der Wahnbach-schichten verwittert grusig.
Die Grauwacken wurden zum Bau des Damms aus dem Müncheberg gewonnen.

Abb. 4 Gefaltete Grauwacke. Aufschluß an der Herkenrather Mühle, Blickrichtung = Streichen: NW

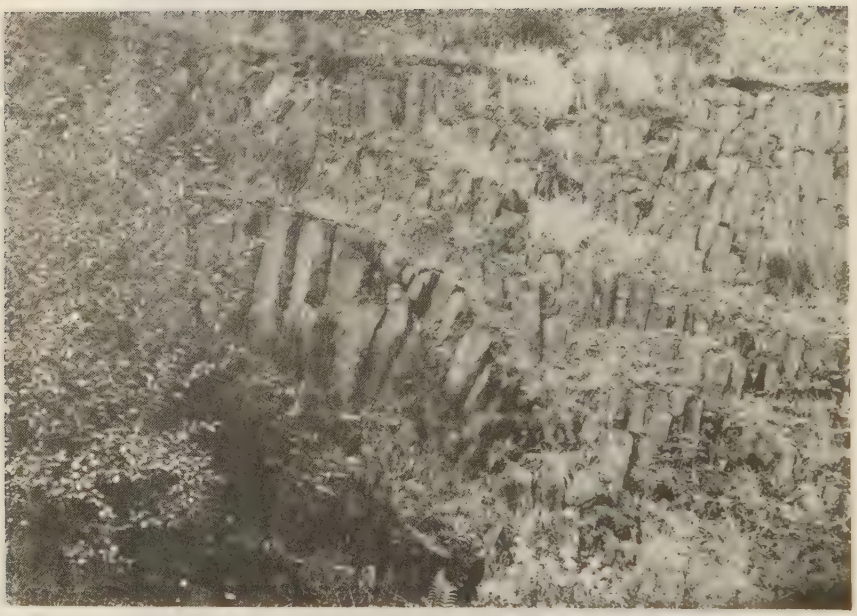


Abb 5a Ehemaliger Basaltsteinbruch auf dem Steimelskopf (Höhe 198 m NN). Die Kuppe gilt als nördlichster Ausläufer des Siebengebirgsvulkanismus.

Abb. 5b Säulen aus Feldspatbasalt am Steimelskopf.
Die säulige Ausbildung löst sich am Rand auf.

Abb. 6 Aufschluß des Ausläufers der Lohmarer Sandterrassen. Sandgrube Münchshecke zwischen dem Wahnbachstaudamm und dem Ort Seligenthal. Die Sande reichen nicht mehr in das Einzugsgebiet der Talsperre.

Abb. 7a Ein Siefen (bei Happerschoß). Rechts und hinten links Steilränder durch Erosion, die durchwurzelte Zone wird unterschnitten.

Abb. 7b Steilrand im Siefen. Unter der Wurzelzone Verwitterungsschutt der Grauwacken (Größenvergleich: Schlüssel Mitte rechts = 6 cm).

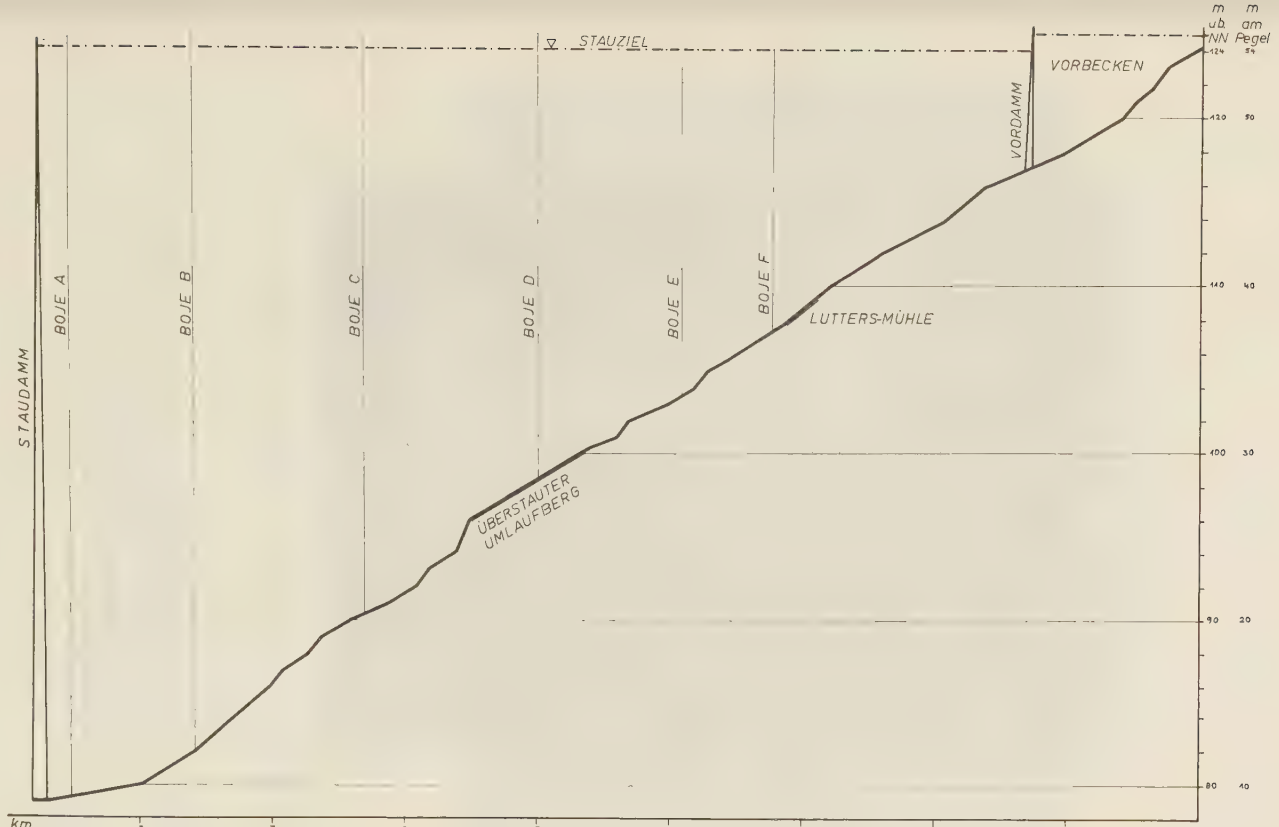


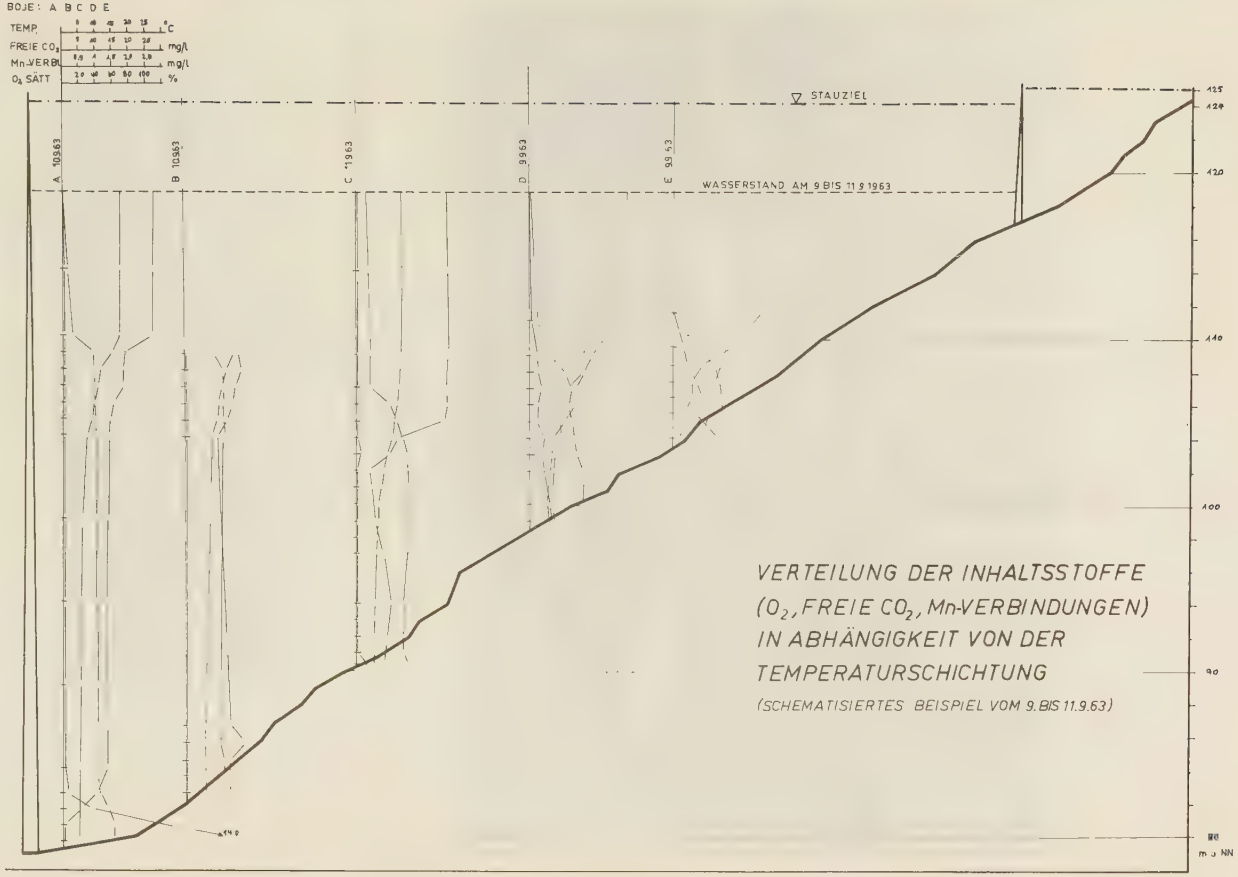
Abb 8

GEFÄLLE DES WAHNBACHTALWEGES IM BEREICH DER TALSPERRE 125 m NN bis 79 m NN
12,5 - fach überhöht

Abb. 9 Der Wahnbachstaudamm von SE her. Im Vordergrund ein Sockel, von dem aus mit einem Theodoliten eventuelle Bewegungen des Staudamms beobachtet werden. Im Hintergrund das Haus am Damm.

Abb. 1o Dhroner Quarzit am W-Rand der Riveristal-sperre.

Abb. 11 Luftaufnahme der Riveristalsperre von SW.
Vorn rechts das Riveristeilbecken, hinten
rechts der Thielenbacharm.
Aus: Riveris, die Trinkwassertalsperre der
Stadtwerke Trier. (Prospekt 1961)



VERTEILUNG DER INHALTSSTOFFE (O_2, FREIE CO_2, Mn-VERBINDUNGEN) IN ABHÄNGIGKEIT VON DER TEMPERATURSCHICHTUNG

(SCHEMATISIERTES BEISPIEL VOM 9. BIS 11.9.63)

Abb. 12

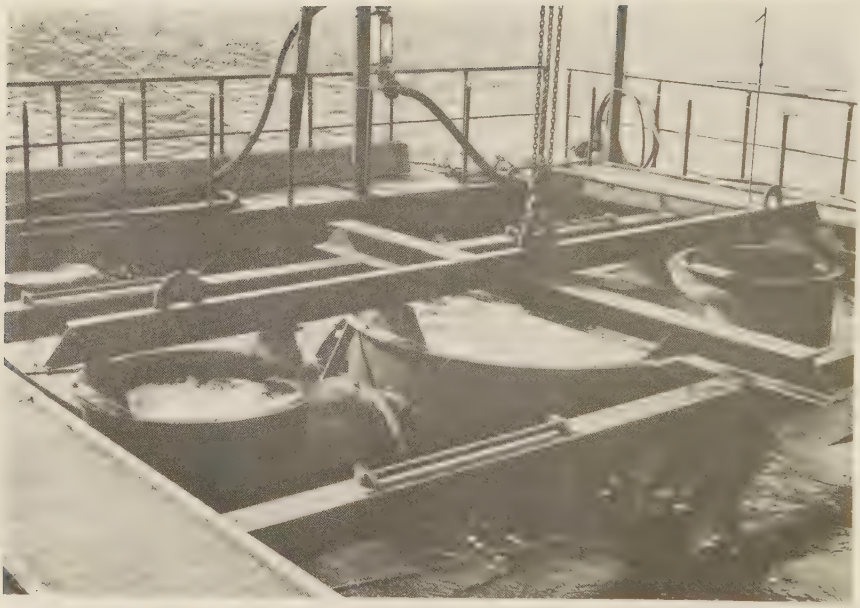


Abb. 13 Anlage zur Belüftung des Hypolimnions an der Wahnbachtalsperre. Das dicke Rohr (Mitte) reicht bis in die sauerstoffarme Grundzone. In das Rohr wird Luft geleitet, das mit Sauerstoff angereicherte Wasser steigt in dem Rohr hoch und weicht durch die Verbindungsstutzen in die kleineren Rohre aus, die bis unter die Sprungschicht hinabführen. Dort tritt das sauerstoffreiche Wasser aus und erreicht wieder das Tiefenwasser. Die thermische Schichtung wird nicht gestört.

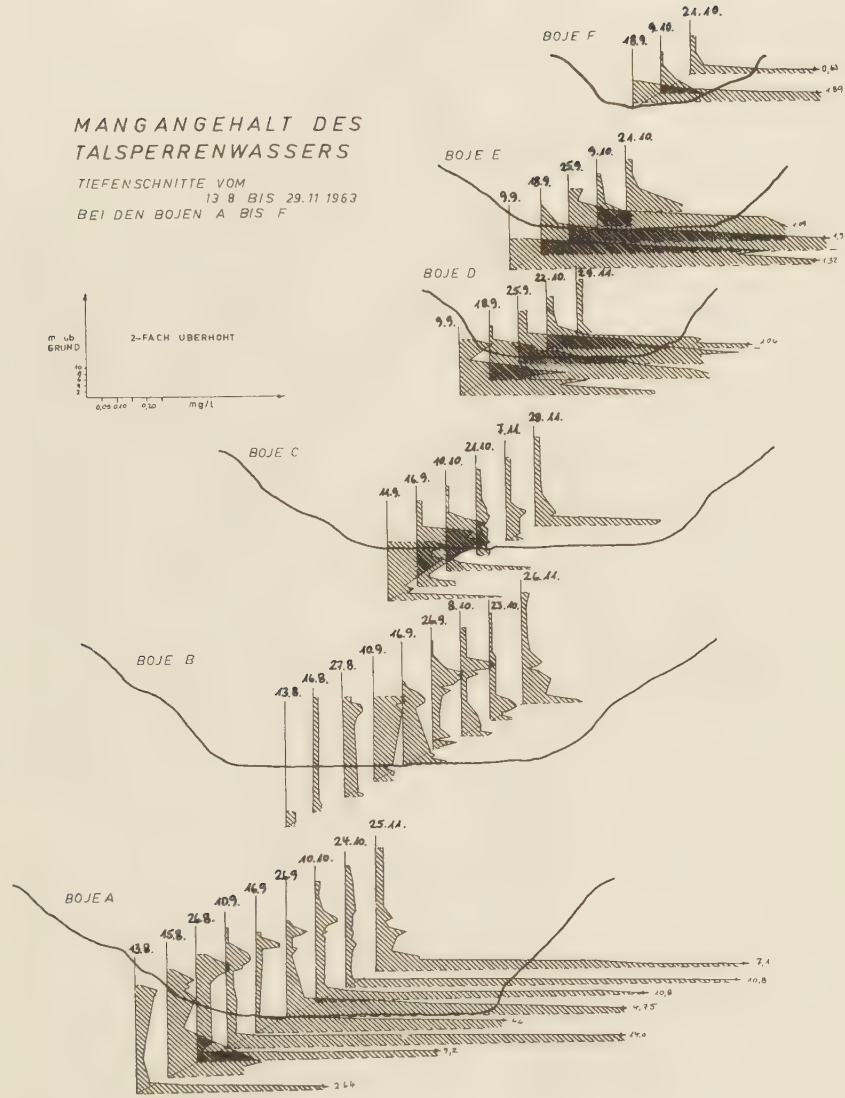

MANGANGEHALT DES
TALSPERRENWASSERS
TIEFENSCHNITTE VOM
13 8 BIS 29.11 1963
BEI DEN BOJEN A BIS F
m ub GRUND
2-FACH UBERHOHT
mg/l
BOJE F
BOJE E
BOJE D
BOJE C
BOJE B
BOJE A

Abb. 14

MANGANGEHALT
DES TALSPERRENWASSERS IN GRUNDNÄHE

QUERSCHNITTE BEI BOJE A VOM 25. BIS 2.11.1961

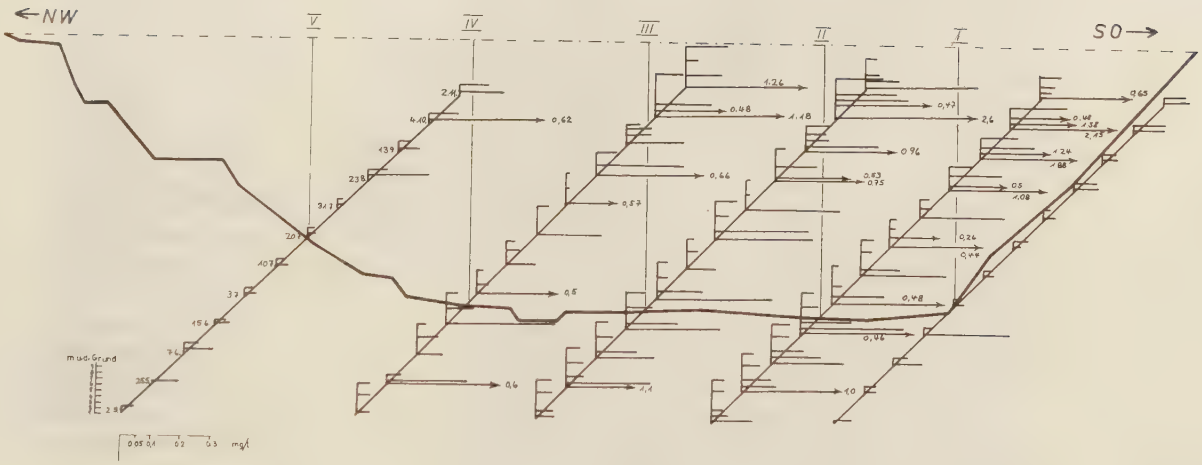


Abb. 15

LINIEN GLEICHER MANGANKONZENTRATION

KONSTRUIERT NACH QUERSCHNITT BEI BOJE A AM 4.10.1961

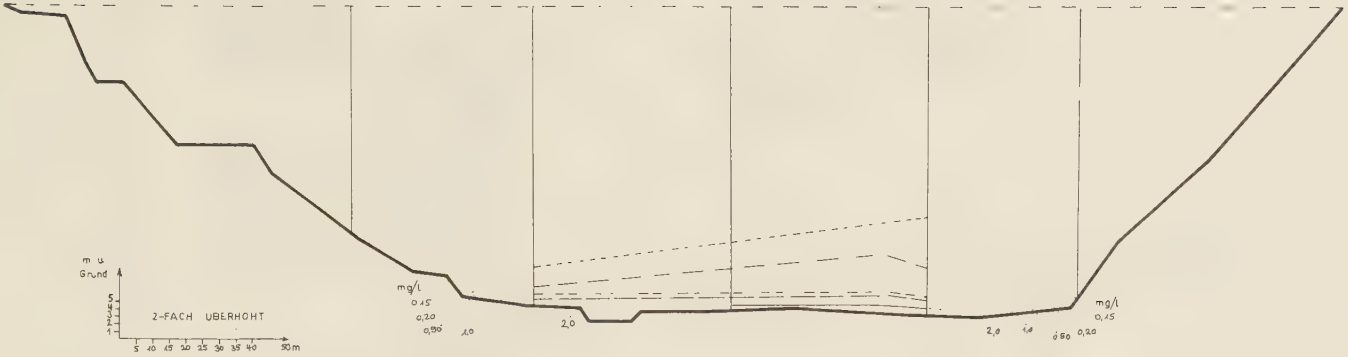


Abb. 16

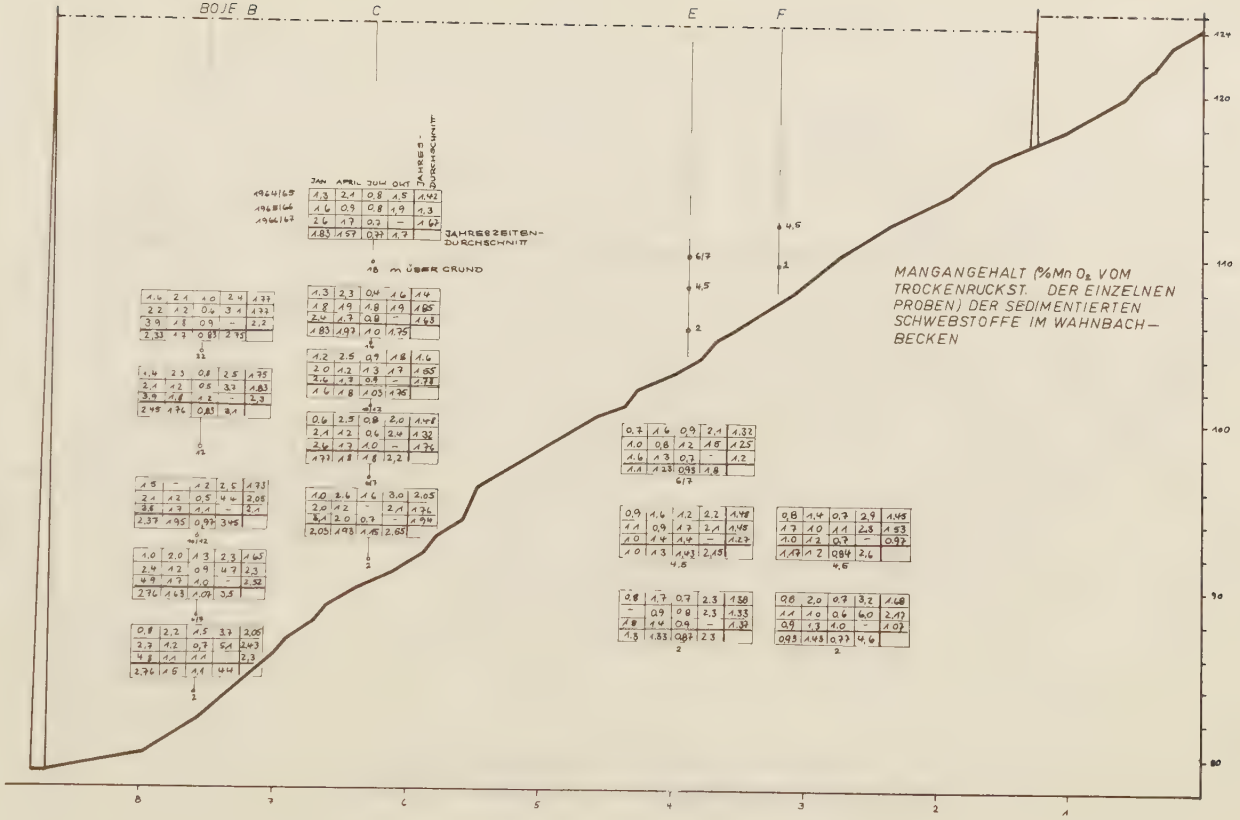

BOJE B
C
E
F
JAHRES-DURCHSCHNITT
JAN APRIL JUL OKT
1964/65
1965/66
1966/67
JAHRESZEITEN-DURCHSCHNITT
18 m ÜBER GRUND
MANGANGEHALT (%MnO2 VOM TROCKENRUCKST. DER EINZELNEN PROBEN) DER SEDIMENTIERTEN SCHWEBSTOFFE IM WAHNBACH-BECKEN
124
120
110
100
90
80
8
7
6
5
4
3
2
1

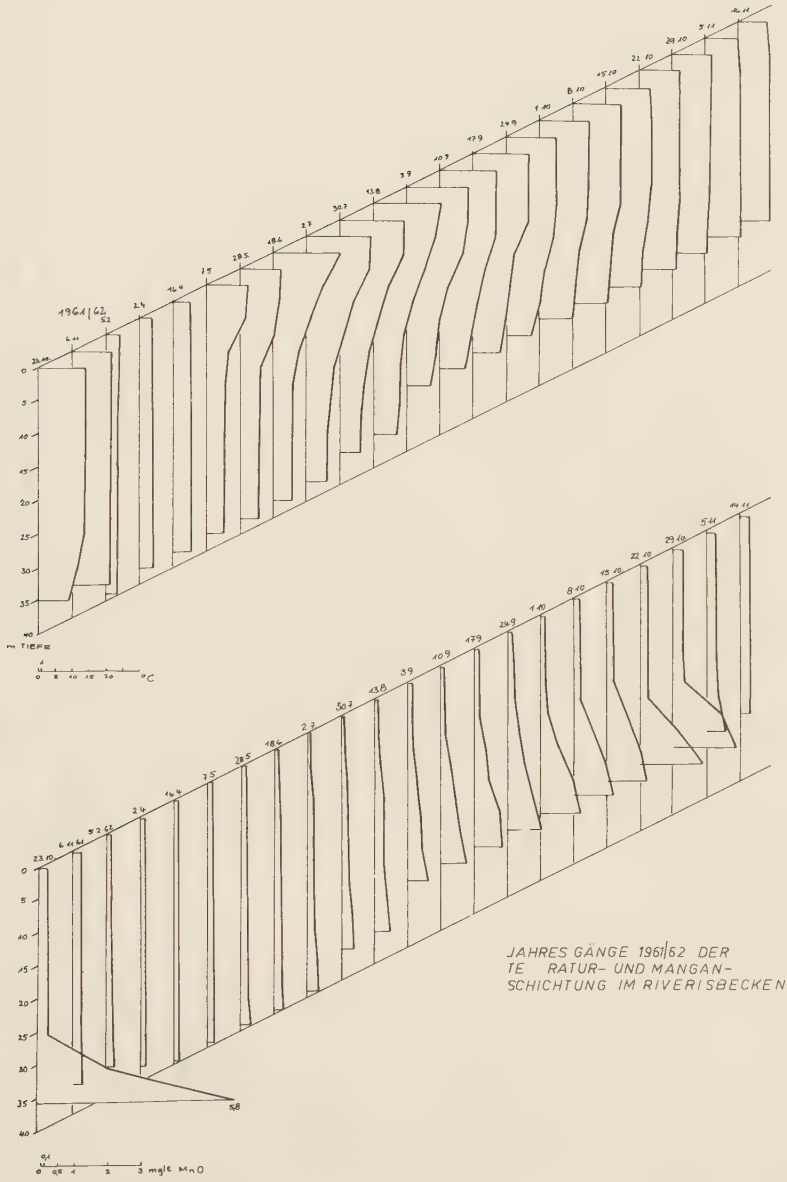
Abb. 17

ENTNAHMESTELLEN DER SEDIMENTPROBEN AUS DER WAHNBACHTALSPERRE
Nr. % SiO2 / % MnO2
---ÜBERSTAUTE BACHBETTEN
NACH R. RHODE 1968
WAHNBACH
ALZENBACH
WOLKERSBACH
INGENBACH
LUTTERS-MÜHLE
HILLENBACH
STOMPSBACH
KISSELBACH
BIRKENBACH
LEHNSIEFEN
BLEIBACH
DERENBACH
FULLENBACH
ZIEFERBACH
WAHNBACH
48a 87,0 / 0,1
47 71,7 / 0,2
48 84,8 / 0,2
46 73,6 / 0,2
45 71,1 / 0,2
41 71,7 / 0,2
42 71,7 / 0,2
37 70,3 / 0,1
35 74,2 / 0,1
9 73,0 / 0,2
33 67,4 / 0,2
32 78,0 / 0,1
27 78,6 / 0,2
26 73,3 / 0,2
20 74,8 / 0,1
25 72,8 / 0,2
19 74,6 / 0,2
18 79,8 / 0,1
22 67,9 / 1,8
17 78,1 / 0,1
16 75,4 / 0,2
6 75,8 / 0,1
5 79,8 / 0,1
4 73,3 / 0,2
11 68,3 / 0,4
14 76,9 / 0,1
1 69,9 / 0,3

Abb. 18

MANGANGEHALT DES BODENS IM WAHNBACH-EINZUGSGEBIET

ABB. 19



JAHRES GÄNGE 1961/62 DER
TE RATUR- UND MANGAN-
SCHICHTUNG IM RIVERISBECKEN

Abb. 20

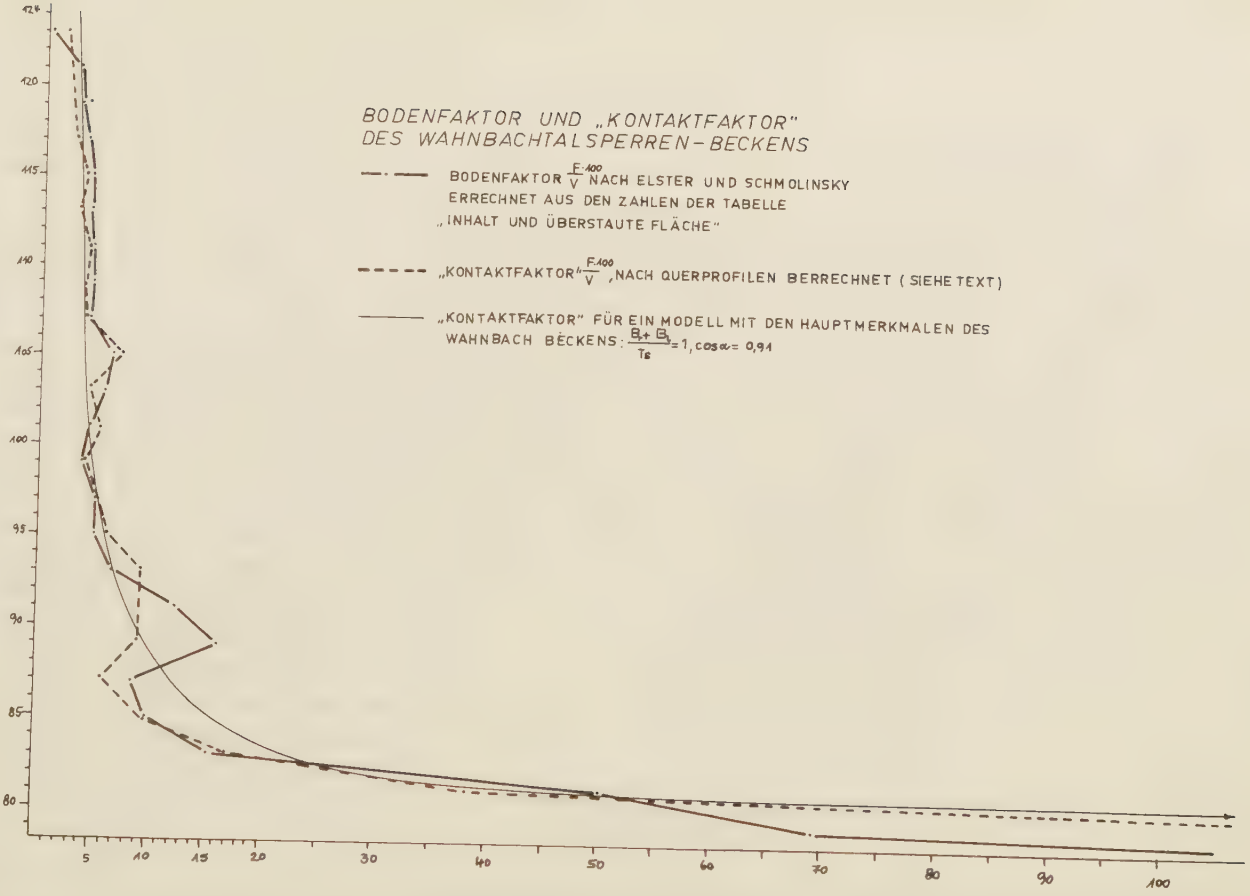

BODENFAKTOR UND „KONTAKTFAKTOR"
DES WAHNBACHTALSPERREN-BECKENS
BODENFAKTOR $\frac{F \cdot 100}{V}$ NACH ELSTER UND SCHMOLINSKY
ERRECHNET AUS DEN ZAHLEN DER TABELLE
„INHALT UND ÜBERSTAUTE FLÄCHE"
„KONTAKTFAKTOR" $\frac{F \cdot 100}{V}$ „NACH QUERPROFILEN BERRECHNET (SIEHE TEXT)
„KONTAKTFAKTOR" FÜR EIN MODELL MIT DEN HAUPTMERKMALEN DES
WAHNBACH BECKENS: $\frac{B_1 + B_2}{T_s} = 1, \cos\alpha = 0{,}91$
120
115
110
105
100
95
90
85
80
5
10
15
20
30
40
50
60
70
80
90
100

Abb. 21

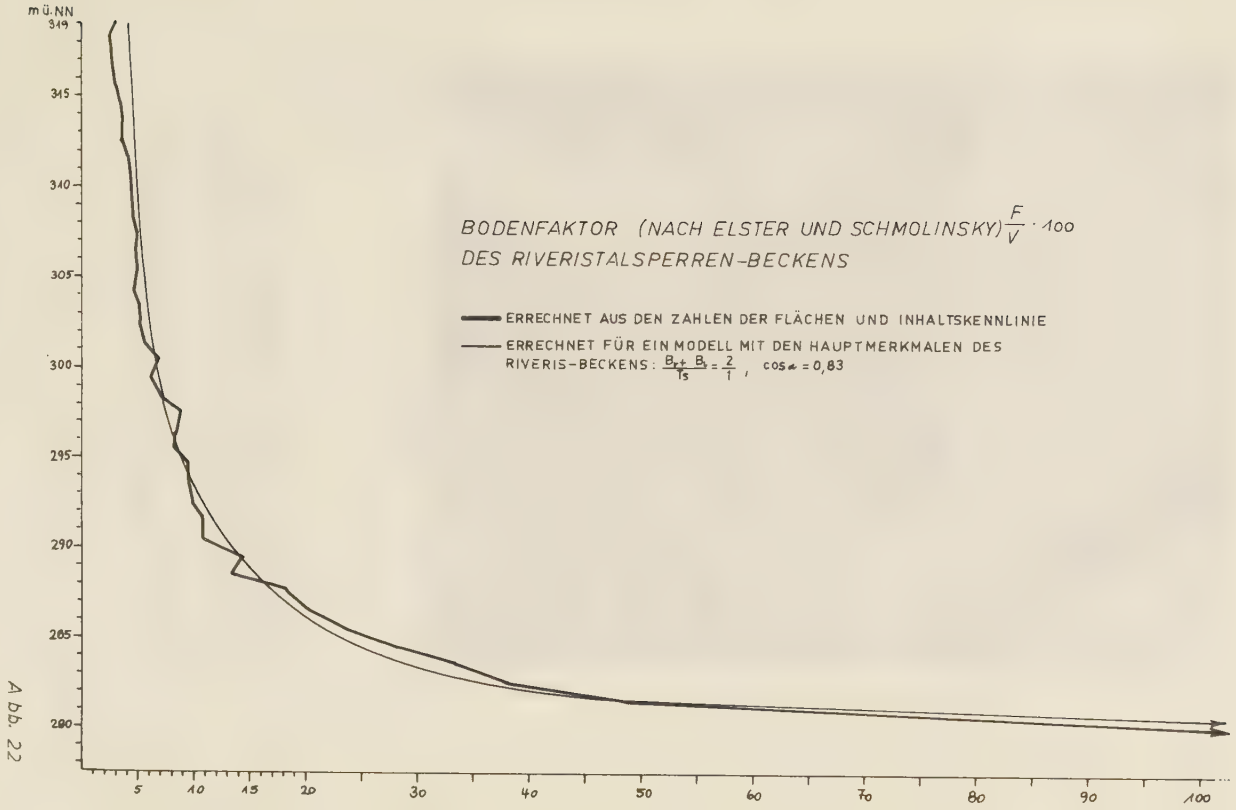

m ü. NN
349
345
340
305
300
295
290
285
280
5
10
15
20
30
40
50
60
70
80
90
100
BODENFAKTOR (NACH ELSTER UND SCHMOLINSKY) $\frac{F}{V} \cdot 100$
DES RIVERISTALSPERREN-BECKENS
ERRECHNET AUS DEN ZAHLEN DER FLÄCHEN UND INHALTSKENNLINIE
ERRECHNET FÜR EIN MODELL MIT DEN HAUPTMERKMALEN DES
RIVERIS-BECKENS: $\frac{B_r + B_s}{l_s} = \frac{2}{1}$, $\cos\alpha = 0{,}83$

Abb. 22

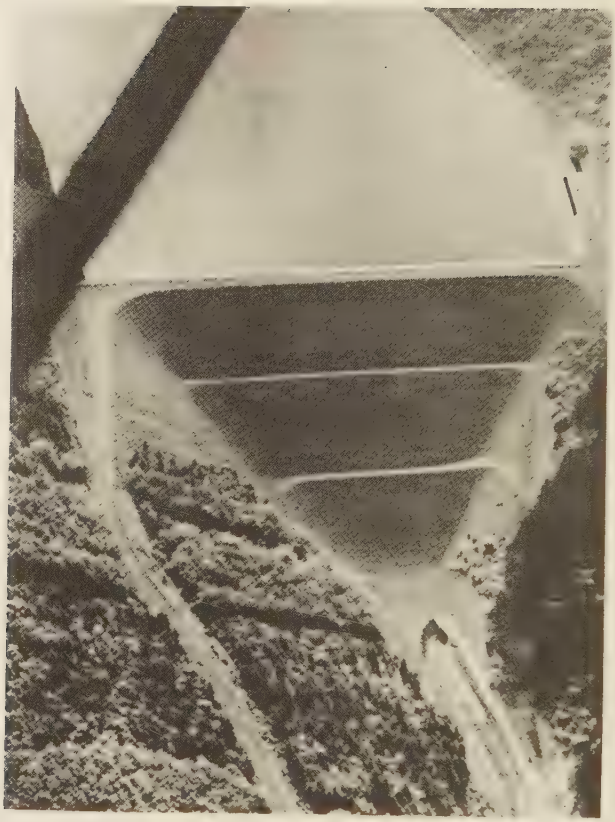
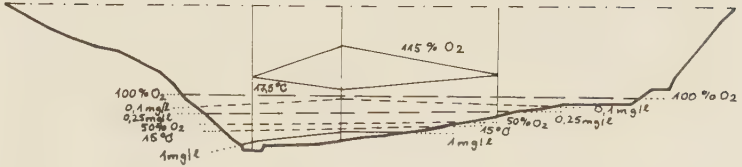


Abb. 23 Luftaufnahme des Riverisdamms von NE. Die steilen Talhänge (über 30 °) und der schmale Talboden sind deutlich erkennbar: die Riveristalsperre liegt in einem Kerbtal.
Aus: Riveris, die Trinkwassertalsperre der Stadtwerke Trier. (Prospekt 1961)

LINIEN GLEICHER TEMPERATUR

UND KONZENTRATION DER INHALTSSTOFFE
MANGAN (mg/l) UND SAUERSTOFF (% O_2-SÄTTIGUNG)
KONSTRUIERT NACH QUERSCHNITT BEI BOJE F AM 29. 8. 1963



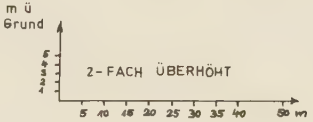


Abb. 24

L e b e n s l a u f

25. März 1941	Geburt in Sagan/Kreis Sprottau als erstes Kind des Flugkapitäns Joachim Gutmann (1944 gefallen) und seiner Ehefrau Gertrud, geb. Cottaeus.
1949 - 1952	Volksschule in Volpriehausen/Kreis Northeim und Hannover
1952 - 1956	Pestalozzischule (Differenzierter Mittelbau) in Hannover
1956 - 1962	Tellkampfschule (Neusprachliches und mathematisch-naturwissenschaftliches Gymnasium) in Hannover
Ostern 1962	Reifeprüfung des neusprachlichen Zweiges
SS 1962	Beginn des Studiums der romanischen Philologie an der Universität Hamburg
SS 1963	Fortsetzung des Romanistikstudiums an der Freien Universität Berlin
1964	Aufnahme des Geographiestudiums im Nebenfach, später als Hauptfach
1967	Diplom-Vorprüfung in Geographie, Geologie, Kartographie und Französisch
1968 / 1969	Drei Monate Praktikum beim Wahnbachtal-sperrenverband
SS 1971	Diplomprüfung in Geographie, Geologie und Kartographie

Druck: Dissertationsdruckstelle, 1 Berlin 33, Garystr. 45